

Henri Ahoste

Yhteistoiminnallisen tuotannonohjauksen vaikutus hukkaan työmaalla

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 22.12.2019

Valvoja: Professori Olli Seppänen

Ohjaaja: DI Pekka Kujansuu

Tiivistelmä



Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Diplomityön tiivistelmä

Tekijä Henri Ahoste

Työn nimi Yhteistoiminnallisen tuotannonohjauksen vaikutus hukkaan työmaalla

Maisteriohjelma Building Technology

Koodi ENG27

Työn valvoja Professori Olli Seppänen

Työn ohjaaja DI Pekka Kujansuu

Päivämäärä 22.12.2019

Sivumäärä 118+3

Kieli suomi

Tiivistelmä

Rakennusala kärsii tuottavuusongelmasta. Jotta tuottavuutta saadaan parannettua, tuotannonohjauksen täytyy pystyä vastaamaan tuotannon ongelmiin ja ominaispiirteisiin. Kehitetyt menetelmät, kuten sijaintipohjainen aikataulutus ja Last Planner System pyrkivät vastaamaan tähän, mutta niiden käyttöönotto on osoittautunut haastavaksi. Perinteisessä työmaan ohjauksessa myös usein unohdetaan aliurakoitsijan sitouttamisen merkitys tuotannon onnistumisessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää yhteys yhteistoiminnallisuuden, eli aliurakoitsijan osallistamisen, ja tuotannon onnistumisen välillä. Tutkimus liittyi Building 2030 -hankkeen hukkatutkimukseen ja siinä kerättiin vertailtavaa tietoa tahtituotannon onnistumisesta. Lisäksi tavoitteena oli löytää menetelmien käyttöön vaikuttavia tekijöitä tuotannon kokemuksia keräämällä.

Diplomityö toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa seurattiin kolmen kuukauden ajan kahden työvaiheen toteutumista tahtipilotoinnin käynnistäneessä ja yhteistoiminnallisuuteen panostavassa kohteessa. Tutkimuksessa tehtiin teemahaastatteluja työmaaorganisaatiossa tuotannonohjauksen onnistumisen ja siihen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi. Lisäksi käyttöönottoon vaikuttavien tekijöitä selvitettiin haastatteluin muualta organisaatiosta.

Tutkimuksessa havaittiin yhteistoiminnallisuuden vähentävän hukkaa selventämällä tuotantotehtävien sisältöjä ja edellytyksiä, auttamalla varmistamaan ja pitämään tehtävien edellytykset sekä vähentämällä vaihtelua tehtävien aloituksissa. Yhteisesti luodun vaihe aikataulun koettiin olevan suositeltava toimintatapa, ja tahtiperiaatteen mukaisen tehtävien sisältöjen ja kestojen määrittämisen auttavan tuotannonohjauksessa. Lisäksi menetelmien käytön kannalta tärkeäksi havaittiin niistä koettu saatava hyöty, koulutusten ja ohjeistusten saatavuus, projektinjohdon tuki sekä työmaan ilmapiiri. Tärkeimmäksi luottamusta ja sitoutumista haittaavaksi tekijäksi havaittiin pääurakoitsijan epäonnistuminen sen vastuulla olevien tuotannon edellytysten täyttämässä niistä ilmoittamisen jälkeen.

Avainsanat hukka, yhteistoiminnallisuus, virtaus, vaihtelu, tahtituotanto

Abstract



Aalto University
School of Engineering

Aalto University, BOX 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Abstract of master's thesis

Author Henri Ahoste		
Title of thesis Effect of Collaborative Production Management on Waste in Construction		
Master programme Building Technology		Code ENG27
Thesis supervisor Professori Olli Seppänen		
Thesis advisor DI Pekka Kujansuu		
Date 22.12.2019	Number of pages 118+3	Language finnish

Abstract

The construction industry suffers from poor productivity. To improve productivity, production management must meet the challenges and characteristics of production. Methods such as location-based scheduling and the Last Planner System have been developed to answer this need, but their implementation has proven to be challenging. Traditional management also often disregards the importance of subcontractor commitment in the success of a project.

The study aimed to find a connection between collaboration with subcontractors and the success of production. The study was done under the Building 2030 -consortium research about waste and also collected data about takt time production success for comparison with other studies. Another goal was to find factors impacting the implementation of lean methods.

The study was carried out as a case research, which consisted of a three-month observation involving two construction tasks in a case project piloting takt time production and collaborative methods. Theme interviews were carried out to find out factors affecting the production. Theme interviews were also performed to find out factors related to the implementation of lean methods.

Collaboration was found to reduce waste in production by clarifying task contents and requirements, helping to secure and keep the requirements for production and by reducing variability at task starts. Collaborative phase scheduling was found to be recommendable by the users and takt-based division of tasks to be helpful in production management. Several important factors affecting the implementation of methods were found: experienced usefulness of the methods, availability of method guides and training, support from management and the atmosphere of the site. The most important factor reducing trust and commitment was failure from the main contractor in securing requirements for work after obstacles were reported to them.

Avainsanat waste, collaboration, flow, variability, takt time production

Esipuhe

Rakennustuotannon järkevöittäminen on ollut minulle tärkeä aihe sitten ensimmäisen kesäni urakkatyömaalla. Tämä diplomityö on antanut mahdollisuuden jatkaa oppimista koko ajan monimutkaisemmaksi paljastuvalla, mutta kuitenkin innostavalla alalla. Haluankin kiittää Skanskaa mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta ja työn rahoittamisesta. Kiitokset Jussi Sainomalle avusta aiheen löytämisessä ja mahdollisuudesta päästä toteuttamaan tämä työ omien näkemysteni pohjalta, sekä ohjaajalleni Pekka Kujansuulle avusta, kannustuksesta ja mielenkiintoisista keskusteluista työn aikana. Kiitokset myös professori Olli Seppäselle työni valvomisesta ja oikeaan suuntaan ohjaamisesta sekä antoisista ja avartavista opetuksista niin luennoilla kuin tutkimukseen liittyvissä tapaamisissa. Lisäksi kiitän Kaupunkiympäristötalon työmaaporukkaa ja aliurakoitsijoita sekä muita tutkimukseen haastattelun antaneita tutkimuksen teon mahdollistamisesta sekä tukenne osoittamisesta tälle työlle.

Tutkinnon ja erityisesti tämän työn aikana on ollut niin hyviä kuin raskaita hetkiä. Niistä raskaista hetkistä opintojen parissa olen selvinnyt erityisesti läheisten ihmisten ansiosta. Haluankin kiittää Antonia, Matiasta, Petjaa sekä muita opiskelutovereitani sparrauksesta ja yhdessä väentämisestä niin opiskelujen aikana, kuin nyt loppusuoralla. Lisäksi haluan kiittää kaikkia ROPOlaisia loistavista keskusteluista sekä mielenkiintoisen toiminnan tarjoamisesta opiskelujen oheen. Lopuksi haluan kiittää avopuolisoani Annia loppumattomasta ymmärryksestä, tuesta ja kannustuksesta opiskelujeni aikana.

Espoossa, 22.12.2019

Henri Ahoste

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Esipuhe

Sisältö

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta ja aiheen valinta	1
1.2	Tavoite ja tutkimuskysymykset	4
1.3	Tutkimuksen luonne, menetelmät ja rajaus	5
1.4	Tutkimuksen rakenne	6
2	Lean-pohjainen tuotannonohjaus	8
2.0.1	Lean-ajattelu ja Toyotan tapa	8
2.0.2	Rakennusalan konteksti	10
2.0.3	Uusi malli rakennustuotannosta ja menetelmien tausta	12
2.1	Virtaus, vaihtelu ja hukka rakennusosalalla	14
2.1.1	Virtauksen määrittely	14
2.1.2	Vaihtelu	15
2.1.3	Hukka lean-ajattelun perustana	18
2.1.4	Hukka rakennusosalalla	19
2.2	Yhteistoiminnallisuuden määrittely	21
2.2.1	Luottamuksen ja vaihtelun vaikutus aliurakoitsijan käyttäytymiseen	24
2.2.2	Social Subcontract	25
2.3	Tutkittavat tuotannonsuunnittelu ja -ohjausmenetelmät	27
2.3.1	LBMS-menetelmän mukainen aikataulusuunnittelu ja -valvonta .	27
2.3.2	Last Planner System	29
2.3.3	Tahtituotanto	33
2.3.4	Yhteenveto menetelmistä ja niiden vertailu	36
2.4	Tuotannon arviointi ja tuloksia saaduista hyödyistä	39
2.4.1	Työmaan tuotannonohjauskäytäntöjen arvioiminen	39
2.4.2	Hukan määrä aiemmissa tutkimuksissa	40
2.4.3	Virtauksen arviointi	42
2.4.4	Yhteistoiminnallisuuden ja menetelmien vaikutus tuotantoon . . .	43
2.4.5	Hypoteesit yhteistoiminnallisuuden vaikutuksesta hukkaan	44
2.5	Yhteistoiminnallisten menetelmien käytön edellytykset ja mahdollistajat .	45
2.5.1	Kulttuurin muuttaminen	45
2.5.2	Esteet Last Planner Systemin käytölle	46
2.5.3	Hyvät käytännöt Last Planner Systemin käyttöönnotossa	47
2.5.4	Hypoteesit menetelmien käyttöönottoon vaikuttavista tekijöistä . .	49
3	Empiria I: Tuotannonohjausmenetelmien vaikutus virtaukseen ja hukkaan	50
3.1	Tutkimuskohde	50
3.2	Tutkimusmenetelmä	51
3.2.1	Menetelmän valinta	51
3.2.2	Aineiston keruu	53
3.2.3	Aineiston analysointi	55
3.3	Työmaan tuotannonohjauskäytännöt verrattuna menetelmiin	57
3.3.1	Yrityksen toimintajärjestelmä	57

3.3.2	PBP-indeksin mukainen käyttöaste	58
3.3.3	Toimintajärjestelmän toteutuminen	59
3.3.4	Tahtituotannon ja aamupalaverien toteutuminen	62
3.4	Asennuslattioiden ja niiden alapuolisten sähkötyöiden onnistuminen	63
3.4.1	Tehtävien esittely	63
3.4.2	Vaihe aikatauluun verrattu seurattujen tehtävien toteuma	64
3.4.3	Aikataulun yleinen toteutuminen	67
3.4.4	Alapuoliset sähkötyöt	67
3.4.5	Asennuslattiatyöt	71
3.5	Kokemuksia käytännöistä	76
3.6	Yhteenveto tuloksista	80
4	Empiria II: Kokemukset menetelmien käyttöönotosta ja yrityksen prosesseista	83
4.1	Tutkimuskohteet	83
4.2	Tutkimusmenetelmä, aineiston keruu ja tiedon analysointi	83
4.3	Yrityksen toimintatapa pohjana menetelmien käytölle	84
4.4	Tuotannonohjaus verrokiprojektissa	85
4.5	Hyvien käytäntöjen levittäminen	86
4.6	Prosessin merkitys työmaatoimihenkilöille	87
4.7	Prosessin merkitys yrityksessä ja kehittäminen	88
4.8	Menetelmiin liittyvät koulutukset yrityksessä	89
4.9	Yhteenveto kokemuksista	89
5	Pohdinta ja tulosten arviointi	90
5.1	Virtaus, vaihtelu, häiriöt ja hukka seuratuissa työvaiheissa	90
5.1.1	Virtaus	90
5.1.2	Vaihtelu	93
5.1.3	Häiriöt	94
5.1.4	Hukka	96
5.2	Menetelmien ja yhteistoiminnallisuuden vaikutus hukkaan	99
5.2.1	LBMS	99
5.2.2	LPS	100
5.2.3	Tahtiajattelu	101
5.2.4	Luottamus ja sosiaalinen aspekti	101
5.2.5	Tilannekuva	102
5.2.6	Aamupalaveri	103
5.3	Esteet ja mahdollistajat käyttöönotolle	104
5.4	Tutkimuksen tieteellinen kontribuutio	105
5.5	Tutkimuksen kontribuutio kohdeyrityksen näkökulmasta	105
5.6	Tutkimuksen reliabiliteetti ja valideetti	106
5.6.1	Reliabiliteetti	106
5.6.2	Valideetti	106
6	Johtopäätökset	107
6.1	Jatkotutkimusaiheet	108
	Viitteet	109
A	Haastattelurunko	

Lyhenteet

CPM	Critical Path Method, Kriittisen polun menetelmä
KVA	Käännetty vaihe aikataulu -menetelmä
LPS	Last Planner System
LBMS	Location Based Management System
PJU	Projektinjohtourakoitsija (pääurakoitsija)
PPC	Percent Plan Complete, Tehtävien toteutumisprosentti
TTP	Takt Time Planning
TPTC	Takt Planning and Takt Control
TPS	Toyota Production System, Toyotan tapa
TFV	Transformation-Flow-Value generation -teoria

1 Johdanto

1.1 Tausta ja aiheen valinta

Työn tuottavuus ei ole kehittynyt rakennusosalalla juurikaan sitten 1980-luvun, toisin kuin muilla aloilla. 1990-luvun jälkeen on raportoitu jopa arvonlisäyksen laskua työtuntia kohden. (Rakennusalan suhdanneryhmä 2019) Asia on kilpaillulle alalle tärkeä, ja tuottavuusongelmaan onkin etsitty vaihtelevalla menestyksellä ratkaisua mm. lean-ajattelusta, automaatiosta ja esivalmistuksesta (Gusmão Brissi ja Debs 2019; Altaf et al. 2018; Tillmann et al. 2015). Koska rakennustuotanto on edelleen hyvin riippuvaista ihmisten tekemästä työstä sekä sen kustannuksista (Koskenvesa et al. 2010; Rojas ja Aramvarekul 2003), työn tuottavuuden parantamisella pystytään suoraan vaikuttamaan projektien hintaan ja pituuteen. Rakennuslehti 9/2017 mainitsee tuottavuuden heikon kehityksen syiksi huonon suunnittelunohjauksen ja puutteet suunnitelmien valmiudessa rakentamiseen lähdetessä, työurakoiden vähentyneen teettämisen sekä urakkahinnoittelun kankeuden. Näiden osatekijöiden lisäksi artikkelissa nähdään kuitenkin suurempia teemoja, kuten lean-rakentamisen heikko läpilyönti sekä 1990-luvulta peräisin olevat tuotannonohjauksen menetelmät, jotka ovat jääneet aliurakoiden ketjutuksen ja niistä aiheutuvan kaupanteon ja sopimustekniikan varjoon. Rakennusalan ongelmat tuotannonohjauksen ja tuottavuuden kanssa on huomioitu myös muualla mediassa:

Helsingin Sanomat, 9/2017: “Rakennusosalalla työn tuottavuus ei ole juuri kasvanut 40 vuodessa – ongelmana on ollut vuoropuhelun puute”

Rakennuslehti, 2/2018: “’Kiireessä ei synny priimaa’, selittävät rakennusmiehet laatuongelmia Rakennusliiton kyselyssä - ’Aikatauluista johtuvien ongelmien takia joissain asioissa joudutaan oikomaan ja lopputulos on välillä välttävä’ ”

Helsingin Sanomat, 4/2018: “’Pois aamukomentoon pohjautuvasta työnjakomeiningistä’ – luottamus jouduttaa töitä työmaalla, sanoo rakennusalan kouluttaja Anssi Koskenvesa”

Rakennushanke on laaja prosessi, joka kattaa vaiheita asiakkaan tarpeiden löytämisestä rakennuksen elinkaaren loppuun. Työmaalla tapahtuvan rakennusvaiheen toiminnan, eli rakennustuotannon, parantaminen on kuitenkin olennaisessa osassa nimenomaan työn tuottavuuden parantamista. Perinteiset tuotannonohjausmenetelmät on kuitenkin todettu riittämättömiksi vastaamaan tavoitteeseen paremmasta tuotannosta, ja niille on kehitetty vaihtoehdoksi lean-ajatteluun perustuvia menetelmiä (Seymour 1996; Horman ja Kenley 1996). Näillä menetelmillä on kaksi perusajatusta, jotka erottavat ne perinteisestä tuotannonohjauksesta: hukan vähentäminen ja virtausajattelu (Ballard ja Howell 1994).

Hukka tarkoittaa arvoa tuottamatonta toimintaa, eli kaikkea mikä ei suoraan edistä tuotteen valmistamista asiakkaan tarpeisiin. Sitä vähentämällä voidaan parantaa myös työn tuottavuutta. (Liker 2003) Esimerkiksi maalaustöissä itse maalaus on arvoa tuottavaa, mutta maalien tai työkalujen ylimääräinen siirto tai ohjeiden odottaminen on hukkaa. Rakennustuotannossa työntekijän käyttämästä ajasta suuri osa on edelleen arvoa tuottamatonta. Työaikaa seurattaessa tuottavan työn osuudeksi on havaittu esimerkiksi Romon (2018)

tutkimuksessa 43% ja Pasilan (2019) tutkimuksessa 22%. Työntekijät eivät kuitenkaan itse pidä käytettyä aikaa hukkana, vaan esimerkiksi Romon (2018) tutkimuksessa työntekijät ja työnjohtajat arvioivat arvoa tuottavan työn osuudeksi noin 90%. Pasilan (2019) tutkimuksessa parannettiin työn edellytyksiä lean-periaatteiden mukaisesti, ja tuloksena työn tehokkuus parani 10-40%, minkä lisäksi työntekijät olivat tyytyväisempiä työskentelyedellytyksiin. Vastaavanlaisia tuloksia n. 20-60% tuottavan työn osuudesta on saatu myös muissa tutkimuksissa (Kalsas 2010). Työn tuottavuutta voidaan siis parantaa vähentämällä kaiken ylimääräisen työn osuutta työntekijän päivässä, kuitenkin luomatta enempää kiirettä tai painetta, vaan tekemällä työskentelyedellytyksistä parempia hyvällä tuotannonohjauksella.

Toinen tärkeä osa tuotannonohjauksen parantamista on virtausajattelu. Virtauksen konseptia voidaan pitää lisäyksenä vanhalle ja puutteelliselle käsitykselle rakennustuotannosta, missä rakentaminen käsitetään vain sarjana erillisiä tuotantotehtäviä, kuten elementin asennus, väliseinän pystytys tai pintamaalaus. Virtausajattelu ottaa kantaa siihen, mitä tehtävien välillä tapahtuu ja miten niiden edellytykset, kuten työntekijät, materiaalit tai tieto liikkuvat työmaalla tehtäviin mahdollistaen niiden toteuttamisen. (Koskela 2000; Sacks 2016) Rakennustuotannossa voidaan katsoa olevan kaksi virtaustyyppiä: työn virtaus ja tuotteen virtaus. Työn virtaus tarkoittaa tehtävän suorittamiseen tarvittavien edellytysten, kuten mainittujen työntekijöiden, materiaalien ja tiedon - toisin sanottuna ”työpakettien” virtausta. Tuotteen virtaus taas tarkoittaa rakennusosan tai tilan valmistumiseksi sen läpi virtaavia työvaiheita. (Sacks 2016)

Virtaus ja hukka ovat kuin kolikon kaksi puolta: hyvä virtaus saavutetaan poistamalla hukka prosessista, ja toisaalta hukka on seurausta huonosta virtauksesta (Koskela 2000; Sacks 2016). Hukka on kuitenkin ilmiönä enemmän seuraus kuin juurisyy, eli hukan vähentämiseen pyrkivän tuotannonohjauksen tulisi tähdätä hyvään virtaukseen. Työn virtauksen parantamiseen voidaan päästä esimerkiksi vaihtelua hallitsemalla ja työn edellytykset varmistamalla (Ballard 2000; Ballard ja Howell 1994; Kenley ja Seppänen 2010) ja tuotteen virtauksen parantamiseen vähentämällä tyhjänä olevan tilan määrää (Kenley ja Seppänen 2010; Sacks 2016).

Tuotannon virtauksia parantavilla menetelmillä on päästy merkittäviin parannuksiin tuottavuudessa. Ballardin (2000) kehittämä Last Planner System® (LPS) on ehkä kuuluisimpia lean-rakentamisen menetelmistä, ja sitä on sovellettu useissa projekteissa ympäri maailman hyvin tuloksin (Ryan et al. 2019; Hackett et al. 2019). LPS:n kehityksen yhtenä pohjana oli huomio tuotannonsuunnittelun epäluotettavuudesta: vain 35%-65% tehtävistä valmistuivat suunnitellusti. Menetelmän mukaisella tuotannon edellytysten varmistamisella ja tuotannonsuunnittelun varmuuden parantamisella on saatu parannettua työn tuottavuutta (Liu et al. 2011) sekä lyhennettyä läpimenoaikoja (Hackett et al. 2019). Sijaintipohjaisella aikataulutuksella ja tuotannonohjauksella, kuten Kenleyn ja Seppäsen (2010) kehittämällä Location Based Management Systemillä (LBMS) on pyritty vastaamaan perinteisen tehtäväpohjaisen aikataulutuksen (esim. kriittisen polun menetelmä) puutteisiin mm. tuomalla aikataulun pohjaksi sijaintijako ja tarkentamalla tehtävien välisiä riippuvuuksia. LBMS:llä on saatu parannettua työn tuottavuutta tekemällä tuotantotehtävistä jatkuvia sijaintien lä-

pi sekä reagoimalla menetelmän tarjoamiin varoituksiin tulevista ongelmista tuotannon todellisen toteutumisen analysoinnin pohjalta (Seppänen et al. 2014).

Sijaintipohjaisista menetelmistä tahtituotanto on saanut viime aikoina huomiota rakennusalalla. Tahtituotanto on tuotu tuottavasta teollisuudesta rakentamiseen, tavoitteena mm. vähentää vaihtelua ja tasata tuotantoa (Frandsen et al. 2013). Sen avulla ollaankin saavutettu esimerkiksi Frandsen et al. (2013) tutkimuksessa 55%, Binniger et al. (2018) tutkimuksessa 70% ja Alhava et al. (2019) tutkimuksessa 30% lyhennys läpimenoajassa. Tahtiajattelun mukaisesti mm. nostamalla tilojen käyttöastetta, eli vähentämällä ”käyttämättömän” tilan määrää keskeneräisessä rakennuksessa (parantamalla tuotteen virtausta) voidaan siis lyhentää koko projektin läpimenoaikaa.

Uusien menetelmien laaja käyttöönotto ei ole kuitenkaan onnistunut odotetusti (mm. Richert ja McGuffey 2019; Demirkesen et al. 2019; Christensen et al. 2019; Koskenvesa ja Koskela 2012) siitä huolimatta, että useat tutkimukset osoittavat lean-menetelmien käytön parantavan projektien tulosta ja läpimenoaikaa. Esimerkiksi Last Planner -menetelmän käyttöönottoa on tutkittu edelleen paljon viime vuosina, ja menetelmä on ollut kokeilussa useassa maassa (mm. Ryan et al. 2019; Power ja Taylor 2019; Sundararajan ja Madhavi 2018; Ravi et al. 2018). Alalla yleisesti tutkimuksen ja käyttöönottojen määrä kasvaa, mutta implementoinnin onnistuminen vaihtelee (Babalola et al. 2019; Torp et al. 2018).

Tämän työn taustalla on juuri kysymys siitä, miksi hyviksi todetut menetelmät eivät ole todellisuudessa kaikilla työmailla käytössä. Vastaavalla työnjohtajalla on edelleen usein keskeinen henkilökohtainen rooli tuotannonohjauksessa (Freeman ja Seppänen 2014) ja työmaiden käytäntöjen päättämisessä. Aikataulut eivät toteudu suunnitellusti (Seppänen 2009) tai välttämättä edes ohjaa tuotantoa, ja työnjohtajien aika kuluu tulipalojen sammutteluun (Ballard 2000). Viiveet kasautuvat (Seppänen 2009) ja osapuolet vajoavat osaoptimointiin (Sacks ja Harel 2006).

Tässä työssä etsitään ratkaisua tuotannon ongelmiin yhteistoiminnallisuuden kautta. Yhteistoiminnallisuudella tarkoitetaan tässä aliurakoitsijoiden ja heidän noikkamiesten tai tuotantoa päivittäin johtavien työnjohtajien mukaan ottamista tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaukseen. Tekijän mukaan ottaminen lyhyen tähtäimen suunnitteluun on LPS:n perusominaisuuksia (Ballard 2000), mutta usein menetelmän nimellisesti käyttöönotto-neilla osallistaminen jää vähäiseksi: esimerkiksi viikkosuunnittelua ei tehdä tekijöiden kanssa, vaan viikkotapaamisissa keskitytään menneeseen tai nykytilanteeseen LPS:ssä tarkoitetun yhdessä suunnittelun sijaan (Dave et al. 2015). Yhteistoiminnallisuus liittyy myös LBMS:llä tai tahtiaikataulutuksella luotujen aikataulujen viemiseen käytäntöön: jotta aikataulutuksella tavoitellut hyödyt voivat toteutua, tuotannon täytyy mennä niiden mukaan. Jos perinteinen pääurakoitsijan ylhäältä käsin ohjailema tuotanto ei toteudu toivotulla tavalla, parantaisiko tuotannonohjausvastuun siirtäminen toteuttajille tilannetta? Jos pääurakoitsijan työnjohtajan tehtävä vaihdetaan ”töiden jakajasta töiden mahdollistajaksi”, parantuvatko työskentelyn edellytykset? Rakennustuotanto on eri toimijoiden yhteensovitusta, ja tähän liittyvä päätöksenteko on olennaista tuottavuuden kannalta.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Diplomityön tavoitteena on selvittää miten aiemmin kehitetyt ja käyttöön otetut menetelmät, kuten LPS, tahtiaikataulutus ja lean-työkalut vaikuttavat tuotannon virtauksiin ja sitä kautta hukkaan. Lisäksi tavoitteena on selvittää, mitkä osat menetelmiä ovat tuotannon suunnittelun ja -ohjauksen kannalta hyödyllisimpiä työmaan näkökulmasta, miten yhteistoiminnallisuus liittyy niistä saataviin hyötyihin ja mitkä tekijät vaikuttavat menetelmien käyttöönottoon. Levittämällä tuotantoa parantavia käytäntöjä työmaille voitaisiin parantaa projektien ja koko aliurakointiketjun tuottavuutta, tehdä tuotannosta ennustettavampaa ja lyhentää läpimenoaikoja. Työn tavoitteena on myös yleisesti herättää ajattelua tuotannon prosessien tärkeydestä yritysten tuottavuuden kannalta.

Tutkimuksen päätavoitteet:

- Löytää yhteys yhteistoiminnallisuuden ja tuotannon tehokkuuden välillä tuotannon virtauksia ja hukkaa tutkimalla
- Kerätä muihin aiheeseen liittyviin tutkimuksiin verrattavaa tietoa tahtipohjaisen tuotannon onnistumisesta tapaustutkimuksen kohteessa
- Selvittää olemassa olevien tuotannonohjausmenetelmien käyttöönoton esteitä ja mahdollistajia

Tutkimuskysymykset:

- 1. Vähentääkö yhteistoiminnallinen tuotannonohjaus hukkaa työmaalla?**
- 2. Mitkä yhteistoiminnallisen tuotannonohjauksen osat ja käytännöt ovat hyödyllisimpiä virtauksen parantamisen ja hukan vähentämisen näkökulmasta?**
- 3. Mitkä tekijät vaikuttavat menetelmien käyttöönottoon?**

1.3 Tutkimuksen luonne, menetelmät ja rajaus

Tutkimusstrategiaksi tähän työhön valikoitui tapaustutkimus, joka toteutetaan osittain kvantitatiivisin ja osittain kvalitatiivisin menetelmin. Tutkimusta ohjaa vahvasti tavoite löytää käytännön kokemuksia tuotannonohjausmenetelmistä ja niiden hyödyllisyydestä, silti tuottaen vertailukelpoista tutkimustietoa Building 2030 -hankkeen muihin tutkimuksiin liittyen. Työn tausta ja tavoitteet tuovat siis tutkimukseen pragmaattisen luonteen. Tämä työ jakautuu tutkimuskysymysten pohjalta kahteen näkökulmaan - ensimmäinen on rakennustuotannon ohjaukseen kehitettyjen menetelmien empiirinen testaus tuotannon hukan vähentämisen kannalta (1. ja 2. tutkimuskysymys) ja toinen on menetelmien käyttöön sekä käyttöönottoon liittyvät kokemukset (3. tutkimuskysymys). Menetelmien vaikutusta tuotannon tehokkuuteen on tutkittu suhteellisen paljon, mutta tässä työssä otetaan uusi näkökulma keskittyen tuotannon hukkaan ja yhteistoiminnallisuuden vaikutukseen menetelmien käyttöön.

Tapaustutkimus on empiirinen tutkimus, joka tutkii sen hetkistä ilmiötä oikean maailman kontekstissa, ja joka sopii erityisesti tilanteisiin, jossa ilmiön ja sen ympärillä olevan tilanteen eli kontekstin rajat eivät ole täysin selviä (Yin 2014). Tässä tutkimuksessa tutkittaviin ilmiöihin vaikuttavien muuttuvien tekijöiden määrä on huomattava ja tekijät ovat vaikeasti mitattavissa, mikä tukee tapaustutkimuksen valintaa tutkimusstrategiaksi. Yinin (2014) mukaan tapaustutkimuksen laadun kannalta on olennaista, että tutkimuksessa valitaan oikeat tutkittavat määreet kuvaamaan tutkimuskysymyksiä, sekä varmistetaan logiikka kerätyn tiedon yhdistämisessä hypoteeseihin. Lisäksi kontekstin epäselvyydestä johtuen kerätyn tiedon tulisi olla monesta eri lähteestä, eli trianguloitu, jolloin voidaan varmemmin näyttää mahdolliset yhteydet hypoteeseihin. (Yin 2014) Tutkimuksen luotettavuuteen ja pätevyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota johtopäätösten oikeellisuuden varmistamiseksi. Tutkimuksen toteutusta ja laadun arviointia käsitellään enemmän työn empiirisessä osuudessa.

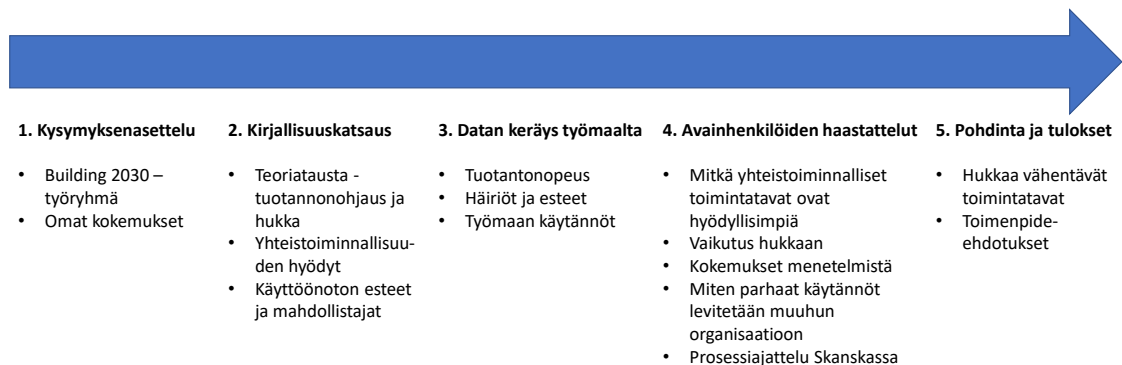
Tapaustutkimuksen kohteeksi valittiin kahden ensimmäisen tutkimuskysymyksen kohdalla yksi työmaa ja sen organisaatio tapauksen erityisyyden vuoksi. Tapauskohde on tahtituotannon pilotointikohde ja siellä kiinnitetään tavallista enemmän huomiota yhteistoiminnallisuuteen. Lisäksi 3. tutkimuskysymykseen vastaamiseksi tutkitaan organisaatiota tapaustutkimuskohteen ulkopuolelta. Paremman kokonaiskuvan saamiseksi tutkimuksessa käytetään kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia menetelmiä. Yinin mukaan (2014) yhden tapauksen tutkimusta ei voida pitää täydellisenä, joten löydökset on suhteutettava muihin edellä mainittuihin saman aiheen tutkimuksiin lopullisten päätelmien tekemiseksi.

Barrettin ja Sutrisnan (2009) mukaan tapaustutkimuksen vaikeutena on sen yleisestä käytöstä huolimatta puutteet kerätyn tiedon analysoinnissa, sillä tieto muuttuu ja vähentyy sen käsittelyn yhteydessä. Tämä on heidän esityksensä mukaan erityisen vaarallista rakentamistalouden ja muun johtamisen tutkimuksessa, sillä usein tavoitteena on, kuten tässäkin työssä, luoda toimintaohjeita tekijöille. Kun näitä toimintaohjeita ja johtopäätöksiä luodaan, asioita käsitteellistetään ja muutetaan abstraktimmaksi. Tässä vaarana on olennaisen tiedon jättäminen pois, esimerkiksi ajatellen sen olevan triviaalia tai epäolennaista. Ratkaisuna tähän he ehdottavat analyysien tekoa eri tasoilla ja eri fokuksilla, käyttäen eri metodeja, ku-

ten Grounded Theory, miellekartat sekä tutkimuksen kuvailua tarinan tavoin. Tässä työssä pyritään kvalitatiivisin menetelmin, eli tarkkailulla, haastatteluilla ja dokumenttianalyysillä sekä kvantitatiivista analyysiä käyttämällä luomaan täydellisin mahdollinen tulkinta tapauskohteen tilanteesta ja ratkaisusta ongelmiin. Oikeanlaisten johtopäätelmien tekemiseksi kvalitatiivisesta tutkimuksesta sekä Barretin ja Sutrisnan mainitsemien ongelmien välttämiseksi tietoa analysoidaan hermeneuttisesti eri näkökulmista, pyrkien ymmärtämään yhteydet tutkittavien määreiden ja tutkimuskysymysten välillä.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen kulku esitellään kuvassa 1. Työn alussa esiteltiin työn tausta ja tavoitteet, joiden pohjalta tehtiin kysymyksenasettelu. Tavoitteiden asettelu perustui Building 2030 -hankkeen tavoitteisiin sekä kohdeyrityksen tarpeisiin. Tutkimusosio koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja empiirisestä osuudesta.



Kuva 1 Tutkimuksen kulku

Kirjallisuuskatsausta käsitellään luvussa kaksi. Katsauksessa käsitellään rakennusalan tuotantoteoriaa sekä lean-ajattelua, määritellään yhteistoiminnallisuus sekä esitellään tutkittavat tuotannonohjausmenetelmät ja ajatus tuotannon tehokkuuden parantamisesta virtausajattelulla ja hukan vähentämisellä. Lopuksi esitellään menetelmien käytön edellytyksiä, hyviä käytäntöjä ja esteitä muiden tutkimusten pohjalta. Kirjallisuuden pohjalta esitetään hypoteesit empiiristä osuutta varten tutkimuskysymysten näkökulmasta.

Empiirisen osuuden ensimmäisessä osassa (1. ja 2. tutkimuskysymys, luku 3) tutkitaan Kujansuun (2018) samaan kohdeyritykseen tekemän diplomityön pohjalta käyttöön otetun tahtiaikataulutuksen onnistumista pilottikohteessa. Tahtituotannosta saadut tulokset täydentävät muuta Building 2030 -hankkeeseen liittyvää tutkimusta tahtituotantoon liittyen (Grönvall, Salerto, Ruohomäki). Lisäksi tutkitaan kohdeyrityksen prosessin mukaisten menetelmien, kuten Ballardin (2000) kehittämän LPS:n, Kenleyn ja Seppäsen (2010) kehittämän LBMS-aikataulutuksen sekä lean-rakentamiseen liittyvien muiden toimintatapojen vaikutusta tuotannon hukkaan yhteistoiminnallisuuden näkökulmasta.

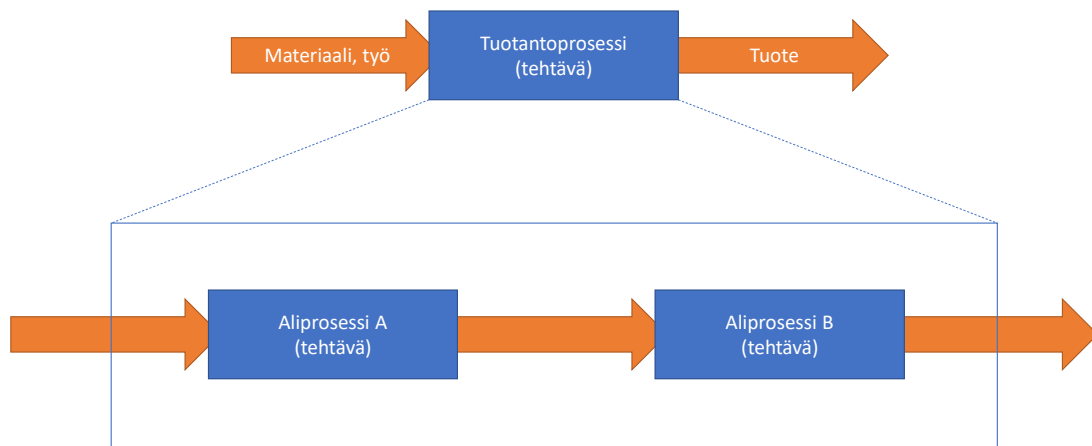
Empiirisen osuuden toisessa osassa (3. tutkimuskysymys, luku 4) tutkitaan kokemuksia

yhteistoiminnallisten menetelmien käytöstä. Tässä osassa pohjaudutaan kirjallisuuskatsaukseen, pilottikohteesta saatuihin kokemuksiin menetelmien hyödyllisyydestä sekä organisaatiossa toteutettavaan tutkimukseen hyvistä käytännöistä ja käyttöönoton esteistä. Empiirisen osuuden tutkimusmenetelmät esitellään niitä käsittelevissä luvuissa.

Lopussa tehdään pohdintaa empiirisen osuuden löydöksistä verraten niitä hypoteeseihin. Tämän jälkeen käsitellään tutkimuksen tieteellistä ja käytännöllistä kontribuutiota tuloksetosiossa ja esitellään toimenpide-ehdotus kohdeyritykselle.

2 Lean-pohjainen tuotannonohjaus

Etsiessä ratkaisua rakennusalan tuottavuusongelmaan on syytä ymmärtää rakennustuotannon luonne ja lean-rakentamisen tausta. Ennen tutkimuksen kohteena olevien menetelmien, yhteistoiminnallisuuden, hukan ja käyttöönoton käsittelyä kappaleissa 2.1-2.5 tässä kappaleessa esitellään lean-rakentamisen perusajatukset ja teoria rakennustuotannosta. *International Group for Lean Construction* (IGLC) -tutkijaverkoston alkuaikoina Koskela (1996) esitti perinteisen rakennustuotannon pohjautuvan ajatukseen tuotannosta kuvan 2 mukaisesti sarjana muunnosprosesseja, joissa on syöttöjä (materiaalit, työ) sekä tuotoksia (rakennusosa, tuote) ja tuottavuuden parantamiseen näiden osaprosessien kustannuksia vähentämällä.



Kuva 2 Perinteinen ajattelu tuotantoprosessista sarjana muunnoksia (Koskela 1992), käännetty ja mukailtu

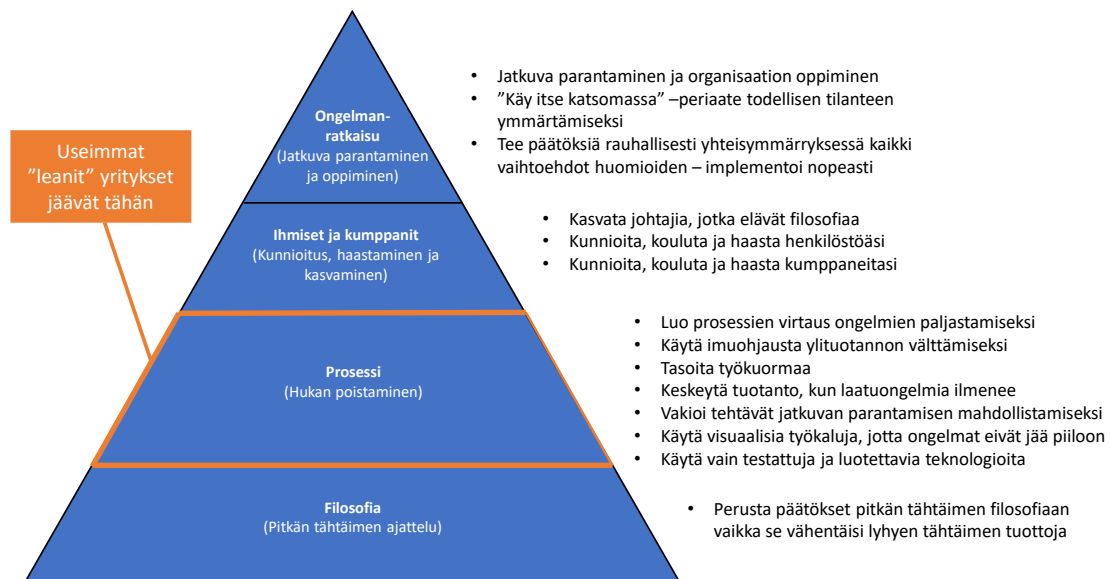
Perinteinen projektinjohto taas perustuu resurssien jakamiseen projektien suorittamiseksi budjetissa, aikataulussa ja määrättyllä laadulla, ja tämän kolminaisuuden hallitaan menetelmillä, kuten työnositus (esimerkiksi työpakettien jako, aliurakat), kriittisen polun menetelmä ja ansaitun arvon menetelmä (esimerkiksi litteroidut kustannukset ja niiden seuraaminen) (Abdelhamid ja Salem 2005). Rakentamista tutkivat osapuolet IGLC-verkostossa totesivat, ettei perinteinen teoria kuvaa todellista rakennusalan prosessia (Koskela 1996), eikä perinteisin menetelmin ole saatu toivottuja tuloksia tuotannon tehokkuuteen (Seymour 1996; Horman ja Kenley 1996), turvallisuuteen tai laatuun (Koskela 1992) ja ehdottivat ratkaisuksi lean-ajattelun tai 'uuden tuotantofilosofian' tuomista rakennusosalalle sekä uuden teorian kehittämistä kuvaamaan rakennusalan tuotantoa.

2.0.1 Lean-ajattelu ja Toyotan tapa

Lean on Japanilainen filosofia, jossa ajatuksena on hukan, eli arvoa tuottamattoman toiminnan poistaminen prosessista ja tuotetun arvon maksimointi. (Ballard et al. 2001) Lean-ajattelun voidaan katsoa (Liker 2003) olevan laajennos Toyotalla toisen maailmansodan jälkeen kehitettyyn tuotantofilosofiaan, joka sai yrityksen nousemaan maailman tuottavim-

maksi ja parhaaksi autoalan yritykseksi. Toyotan filosofiaa kutsutaan Toyota Production Systemiksi (TPS) ja sen kehittivät Taiichi Ohno ja Eiji Toyoda. Liker (2003) esittää kirjassaan *The Toyota Way* Toyotan tavan syntyneen tarpeesta tarjota joustavasti erilaisia kulkuneuvoja sodanjälkeisen Japanin pienessä markkinassa. Liker esittää tämän muutoksenajan auttaneen heitä tekemään kriittisen löydöksen: kun lyhennetään läpimenoaikoja ja pidetään tuotanto joustavana, saadaan parempaa laatua, parempaa reagointia asiakkailta, parempaa tuottavuutta ja parempi käyttöaste tiloille sekä laitteille. Likerin mukaan perinteisessä Fordin massatuotannossa saadaan ehkä tilanne näyttämään paremmalta koneiden (vrt. työntekijäresurssit rakennuslalla) käytön optimoinnin osalta, mutta ei vastata asiakkaiden tarpeeseen. Olennainen ero tulee siis Ohnon tuotantotiloissa tekemästä havainnosta: hukan vähentäminen ja tuottavuuden kasvattaminen ei lähde resurssien ja koneiden mahdollisimman tehokkaasta käytöstä, vaan asiakkaalle lisäarvoa tuottavien tehtävien löytämisestä ja kaiken muun karsimisesta. (Liker 2003)

Merkityksellisintä Toyotan tavassa tämän työn kannalta on kuitenkin se, että Toyotan menestys ei perustu vain prosessin muuttamiseen ja lean-työkaluihin, vaan siihen, että TPS on kokonaisvaltaisempi filosofia (Liker 2003). Liker esittää, että Toyotan tapa on paljon syvempi kulttuurillinen muutos, kuin suurimmassa osassa yrityksistä osataan edes kuvitella. Leaniksi pyrkivät yritykset ottavat innolla käyttöön työkaluja, mutta eivät ymmärrä Toyotan menestyksen olevan tulosta monikymmenvuotisesta sitoutumisesta ihmisten ja kumppaneiden kehittämiseen sekä jatkuvan parantamisen kulttuuriin ja työkalujen toimimiseen yhdessä osana kokonaisvaltaista systeemiä (Liker 2003; Stone 2012). Liker jakaa TPS:n neljään periaatteeseen ja niiden 14 alakategoriaan kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3 Toyota Production Systemin 14 periaatetta (Liker 2003), mukailtu

Toyotan tavan kokonaisvaltaisuuden ymmärtämistä on ehkä heikentänyt (Stone 2012) lean-termin epämääräistyminen sen periaatteita määriteltessä. Stonen (2012) mukaan lean-tuotanto määriteltiin aluksi Womackin ja Jonesin (1990) kuuluisassa teoksessa *The*

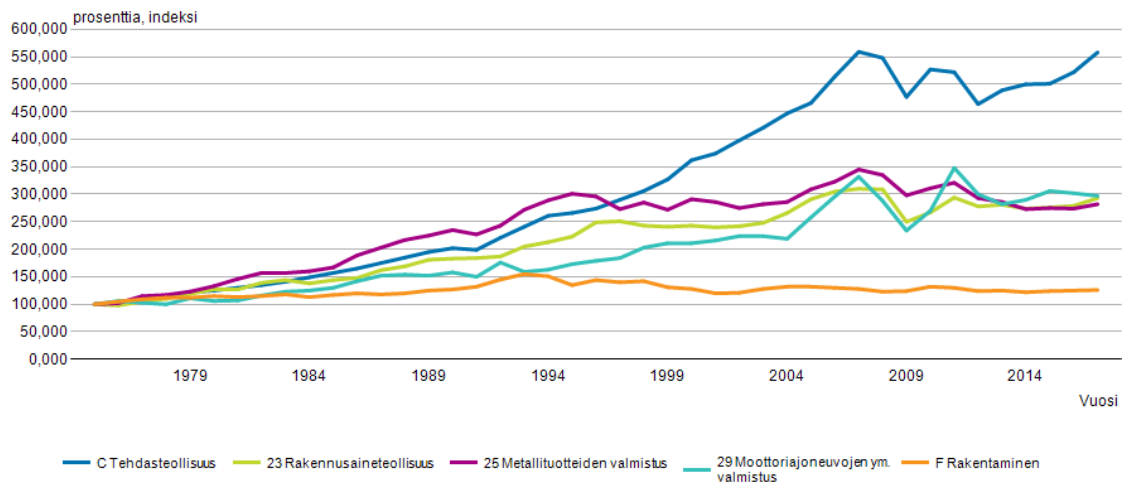
Machine that Changed the World kuvaamaan Toyotan tapaa, mutta on sittemmin muuttunut epämääräisemmäksi. Stone (2012) esittää Seddonin ja Caulkin (2007) artikkelin pohjalta, että epämääräisyys on johtanut useisiin huonosti kohdennettuihin lean-työkalujen implementointiyrityksiin, jotka eivät ole saaneet aikaan kuin rajallisia ja lyhytkestoisia tuloksia. Stone (2012) määrittelee lean-paradigman kuitenkin kiteytyvän ajatukseen hukan tunnistamisesta sekä vähentämisestä. Rakennusalan tuotujen menetelmien taustaa kuvaamaan on hyvä esitellä niihin vahvasti vaikuttaneet Womackin ja Jonesin (1997) määrittelemät leanin viisi periaatetta hukan vähentämiseksi:

- **Arvon määrittäminen** - vain lopullinen asiakas määrittää arvon. Prosessin ja organisaation monimutkaisuus saattavat vääristää arvoa ja tuoda osia joilla ei ole mitään merkitystä asiakkaalle.
- **Arvoketjun määrittäminen** - määritä tehtävät, jotka täytyy tehdä tuotteen saamiseksi asiakkaalle.
- **Virtaus** - luo virtaus arvoa tuottavien tehtävien välille. Keskity tuotteeseen, poista erätuotanto ja odotus.
- **Imuohjaus** - tuote tehdään vain asiakkaan tarpeeseen. Seuraava tehtävä imee edellisten tuotantoa.
- **Jatkuva parantaminen** - paranna tuotantoa jatkuvasti ja pienin askelin.

2.0.2 Rakennusalan konteksti

Yritysten ongelmista omaksua filosofia huolimatta TPS sekä lean ovat näyttäneet toimivuutensa ja ovat nykyään valmistavan teollisuuden perusmenetelmiä (Bajjou et al. 2017). Kuvassa 4 esitetään, kuinka tilastokeskuksen tutkimuksen (Suomen virallinen tilasto 2019) mukaan tehdasteollisuus on viisinkertaistanut tuottavuutensa ja muu valmistava teollisuus, kuten moottoriajoneuvojen valmistus ja rakennusaineteollisuus on kolminkertaistanut tuottavuutensa vuodesta 1975. Tilanne on vastaavanlainen myös muualla kuin Suomessa, esimerkiksi suuressa osassa Eurooppaa ja Yhdysvalloissa. (Rakennusalan suhdanneryhmä 2018) Kuvan 4 perusteella voidaan myös huomata rakennusalan tuottavuuden merkittävän jäämisen muista aloista alkaneen 1980-luvulla, jonka loppupuolella ajatus lean-filosofian mukaisesta tuotannonohjauksesta tuli alan tutkijoiden mielenkiinnon kohteeksi. Selvästi muiden alojen tapaiseen murrokseen ei olla päästy pyrkimyksistä huolimatta. Rakennusalan luonteessa on jokin olennainen ero valmistavaan teollisuuteen, mikä on aiheuttanut tuotannon jäämisen vanhaan malliin. Seuraavaksi käsitellään alan luonnetta sekä uuden ajattelutavan mukaista teoriaa rakennustuotannosta.

Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain muuttujina Toimiala ja Vuosi. S1Y
Yksityinen sektori, Työn tuottavuuden indeksi 1975=100.



Lähde: Tilastokeskus, Tuottavuustutkimukset

Kuva 4 Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain 1976-2018 (Suomen virallinen tilasto 2019)

Koskelan ja Vrijhoefin (2000) mukaan TPS:n ja lean-menetelmien käytettävyys rakennusalalla on ollut rajallista alan erilaisesta kontekstista johtuen. Heidän mukaansa rakennusalan teorian puutteellisuus on ollut esteenä tuottavassa teollisuudessa tapahtuneen suuren murroksen tapahtumiselle rakennusalailla ja ilman eksplisiittistä teoriaa rakennustuotannosta on ollut mahdotonta käsitellä ja siirtää lean-ajattelua rakennusalaalle. Jacobs (2010) esittää Koskelan ja Vrijhoefin (2000) sekä Paez et al. (2005) tutkimusten pohjalta neljä rakennusalan perusominaisuutta, eli kontekstin, joka erottaa rakennustuotannon valmistavasta tuotannosta:

- **Työmaalla tapahtuva tuotanto** - tuotanto on työmaasidonnaista, ja olosuhteet määräytyvät rakennuksen mukaan. Tuotannon infrastruktuuri, kuten kulkutiet, varastot sekä sähkön ja veden saanti ovat muuttuvia ja tilapäisiä tekijöitä.
- **Projektien ainutlaatuisuus** - projektit ovat ainutlaatuisia, eli jokaisella projektilla on erilaiset vaatimukset, joita kuvataan suunnitelmilla ja ohjeilla. Sijainti, rakennusmateriaalit, rakennuksen ominaisuudet, niille tehtävät testit ja toimittajat sekä urakoitsijat ovat erilaiset jokaisella projektilla. Lisäksi projektin vaatimukset ja suunnitelmat usein muuttuvat kesken projektin. Näistä seuraa omanlaisensa tarve jatkuvasta kanssakäymisestä ja yhteistyöstä rakennuksen käyttäjän, tilaajaorganisaation, suunnittelijoiden, pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden välillä.
- **Tuotannon kompleksisuus** - eri aloilla (talotekniikka, rakennusosat, ym.) on erikoistuneet urakoitsijansa, jotka ovat useimmiten eri yrityksistä. Nämä urakoitsijat vastaavat vain omasta työstään, eivätkä koko projektin onnistumisesta. Urakoitsijoiden työvaiheet ovat osin päällekkäisiä ja vaikuttavat toisiinsa, eli työn aikataulutus sekä tuotannonsuunnittelu täytyy sovittaa muihin urakoitsijoihin.

- **Tuotannon epävarmuus** - rakennusosalalla työvaiheissa on väistämätöntä epävarmuutta. Epävarmuus on tuttua kaikille rakennusosalalla työskenteleville ja sen kanssa joudutaan toimimaan päivittäin. Esimerkiksi suunnittelun epätarkkuus, epätarkat kustannuslaskelmat, väärät vaatimukset, materiaalitöimitukset sekä työntekijöiden kokemattomuus tai huono ohjeistus ja siitä aiheutuvat laatuongelmat tuovat epävarmuutta. Lisäksi ulkoiset olosuhteet, kuten sää, maaperän laatu ja tilaajalta tulevat muutokset tuovat oman osansa, mutta voivat olla hallittavissa.

Kaikki nämä rakennusalan ominaisuudet tuovat tuotantoon vaihtelua, jota ei esiinny tehdas-tuotannossa. Vaihtelu on “myrkkyä” tuotannon virtauksille, eli se tekee hyvän virtauksen saavuttamisesta hankalaa ja vähentää työn tuottavuutta (Lindhard 2014). Rakennusosalalle sopivan tuotannonohjausmenetelmän täytyy vastata näiden ominaisuuksien tuomiin ongelmiin.

2.0.3 Uusi malli rakennustuotannosta ja menetelmien tausta

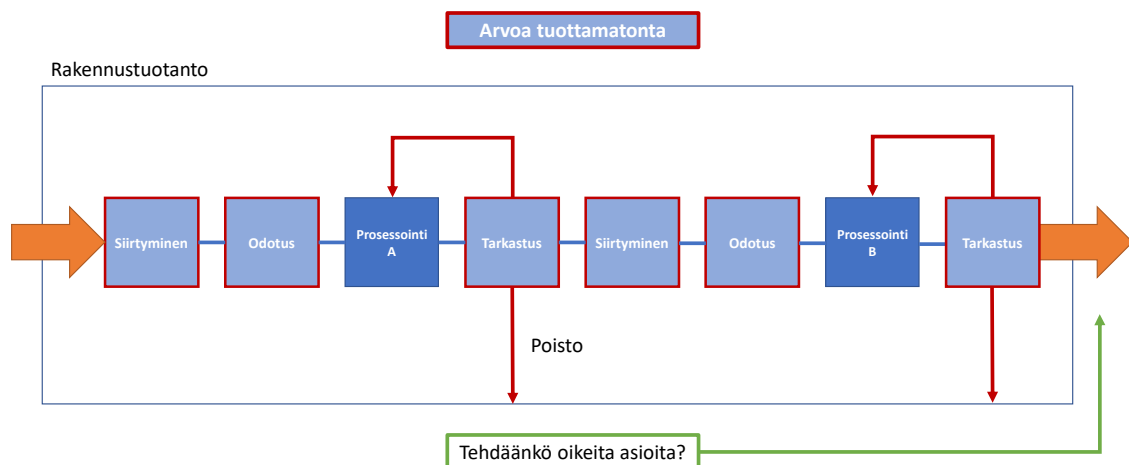
Rakennusalan kontekstin pohjalta on luotu näkemyksiä rakennusalan tuotannosta ja sen johtamisesta. Tässä työssä käsiteltävät menetelmät pohjautuvat kolmeen lean-rakentamisen piirissä tapahtuneen tutkimuksen ja kehityksen tulokseen: Koskelan (2000) esittämä Transformation-Flow-Value generation (TFV) -teoria rakennustuotannosta, Ballardin (2000) luoma Last Planner System (LPS) sekä sijaintipohjaiset aikataulutusmenetelmät, mistä Kenleyn ja Seppäsen (2010) kehittämä Location Based Management System (LBMS) on ehkä pisimmälle viety. TFV-mallin tarkoitus on auttaa ymmärtämään rakennustuotantoa, LPS vastaa työn suunnitteluun ja hallitsemiseen rakennusprosessissa (Bertelsen 2002) ja sijaintipohjaiset menetelmät antavat tavan tehdä ja hallita rakennustuotannon aikataulutusta.

Koskelan (2000) luoma TFV-teoria vastaa esitettyyn kritiikkiin rakennusalan teorian vajavaisuudesta ja tuo eksplisiittisen mallin rakennustuotannosta. Koskela yhdistää mallissa kolme historiallista näkemystä tuotannosta ja esittelee ne rakennusalan kontekstin huomioiden. Teorian pätevyyttä on testattu useasti, ja se on näyttänyt toimivuutensa selittämällä rakennusalan ilmiöitä ja toimimalla pohjana alalle tuoduille menetelmille (Koskela 2000; Bertelsen et al. 2007; Biton ja Howell 2013). Kolmijakoinen TFV-malli laajentaa kapaleen alussa esiteltyä perinteistä muunnosnäkemyksestä (T) ja lisää virtausnäkökulman (F) sekä arvontuottonäkökulman (V). Muunnos on olennainen osa tuotantoa, mutta se ei ota huomioon muunnosten välisiä virtauksia tai ajatusta arvontuottamisesta asiakkaalle. Taulukossa 1 esitetään TFV-mallin tärkeimmät piirteet Koskelan (2000) esityksen pohjalta:

Taulukko 1 TFV-mallin mukainen näkemys rakennustuotannosta. (Koskela 2000)

	Muunnos (T)	Virtaus (F)	Arvontuotto (V)
Tuotannon konseptointi	Muutos syötöistä (materiaalit, työ) tuotoksiksi (tuote)	Materiaalin (rakennusosa) virtaus, jossa siihen tehdään muutosta, tarkastusta, siirtelyä ja odottamista	Prosessi, jossa arvoa luodaan asiakkaalle täyttämällä hänen vaatimukset
Pääperiaatteet	Toteuttaa tuotanto tehokkaasti	Poistaa arvoa tuottamattomat tehtävät eli hukka	Poistaa arvon häviäminen (saavutettu arvo verrattuna parhaaseen mahdolliseen arvoon)
Esimerkkejä metodeista ja työkaluista	Työnosittelu, vastuunjako organisaatiossa	Jatkuva virtaus, imuohjaus, jatkuva parantaminen	Systemaattiset menetelmät asiakkaan vaatimusten selvittämiseksi
Käytännön hyöty	Tehdään tarvittavat tehtävät	Tehdään mahdollisimman vähän tarpeettomia tehtäviä	Huolehditaan siitä, että asiakkaan tarpeet täytetään parhaalla mahdollisella tavalla

Kuvassa 5 esitetään Koskelan (2000) TFV-mallin mukainen rakennustuotanto lisättynä huomioilla lisäarvoa tuottamattomista tehtävistä sekä arvontuottonäkökulmasta, eli siitä “Tehdäänkö oikeita asioita?”. Teorian mukaan munnosten välissä olevat arvoa tuottamattomat tehtävät ja asiakkaan näkökulmasta oikeiden asioiden tekeminen ovat olennainen osa rakennustuotantoa, ja ne on pakko ottaa huomioon, jotta tuotantoa voidaan suunnitella sekä toteuttaa paremmin ja siten parantaa tuottavuutta.



Kuva 5 Virtaus rakennustuotannossa TFV-mallin mukaan (Koskela 2000). (Mukailtu)

Tässä työssä tarkastellaan tutkimusasettelusta johtuen rakennustuotantoa erityisesti virtausnäkökulmasta. Tutkimuksen kohteena olevat menetelmät pyrkivät parantamaan nimenomaan virtauksia, eikä niinkään itse muunnosta. Myös arvontuottonäkökulma jää tarkastelun ulkopuolelle.

2.1 Virtaus, vaihtelu ja hukka rakennusalalla

Virtaus on edellä esitellysti siis uuden ajattelutavan mukaisten tuotannonohjausmenetelmien keskiössä. Muunnosten eli erillisten arvoa tuottavien “hetkien” välistä toimintaa parantamalla voidaan päästä kohti parempaa tuotantoa ja pienempää hukkaa. Tässä kapaleessa esitellään ideaalit työn ja tuotteen virtaukset, miksi vaihtelun takia niihin on mahdoton päästä (Lindhard et al. 2019) ja tämän aiheuttamat vaatimukset tuotannonohjausmenetelmille. Lisäksi esitellään lean-ajattelulle olennainen hukan käsite rakennusalan kontekstissa, jotta tuotannon ongelmista syntyviä häiritseviä vaikutuksia voidaan käsitellä.

2.1.1 Virtauksen määrittely

Rakennustuotannon virtaus ei ole kovinkaan hyvin määritelty tai ymmärretty alalla (Sacks 2016). Mitä on virtaus? Sacksin (2016) mukaan vaikeus ymmärtää virtaus konseptina tulee luontaisesta erosta tehdastuotannon ja rakennustuotannon välillä: rakennustuotannossa työryhmät liikkuvat paikallaan olevilta tuotteilta toiseen, kun tehtaassa tuote liikkuu työpisteiden läpi. Koskelan (2000) TFV-mallin jako muunnokseen ja virtaukseen perustuu tehdasteollisuuden määritelmään operaatioista (tuotteelle tehdään jotain, muunnos) ja prosesseista (miten tuote liikkuu operaatioiden välillä, virtaus). Sacksin mukaan lean-rakentamisesta tehtyjen tutkimusten pohjalta virtaus kannattaa ymmärtää kahtena eri osana: työn virtaus (työntekijät, työkalut, suunnitelmat, materiaalit: operaatiot, T) (Ballard 2000) ja tuotteen virtaus - virtaus sijainnin läpi (tuote, huone, seinä, tms. : prosessi, F) (Kenley ja Seppänen 2010). Kuvassa 6 havainnollistetaan näiden eroa.



Kuva 6 Työn virtaus ja tuotteen virtaus.

Lean-ajattelun mukaiselle hyvälle tuotannon virtaukselle on esitetty erilaisia vaatimuksia ja periaatteita, kuten TFV-mallissa mainittu hukan vähentäminen (Koskela 2000), LPS:n periaatteena oleva tuotannon luotettavuus (Ballard 2000) sekä Toyotan tavan mukainen eräkoon pienentäminen ja välivarastojen poistaminen (Womack et al. 1990; Ohno 1988). Sacks (2016) esittää lean-tuotannon perustavien teorioiden pohjalta yhdistetyt määrittelyt täydellisille työn ja tuotteen virtauksille rakennustuotannossa. Sacksin esitystä voidaan pitää ideaalitulana tuotannon virtauksille, ja tässä työssä tapaustutkimusta arvioidaan näiden määritelmien pohjalta:

1. Tuotteen virtaus (prosessit, F)

- 1.1. Tuotannon tasapaino: läpimenoajan ero (valmistuneet sijainnit per aika) eri sijaintien välillä tulee olla nolla.

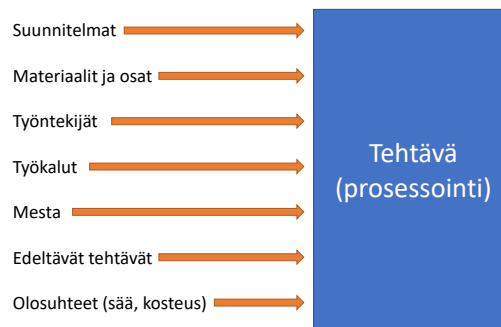
- 1.2. Eräkoko: työntekijän tai työryhmän varaamien alueiden määrä on yksi.
 - 1.3. Aikapuskureiden määrä tehtävien välillä tulee olla nolla.
 - 1.4. Tehtävien muunnosten määrä tulee olla mahdollisessa minimissään.
 - 1.5. Työ tehdään kerralla loppuun, työryhmä ei palaa sijaintiin.
 - 1.6. Työtä ei korjata tai tehdä uudelleen.
 - 1.7. Virtaus on luotettava: vain tehtävissä olevat tehtävät päästetään tuotantoon.
 - 1.8. Keskeneräisten alueiden määrä vastaa työryhmien määrää. Work in progress (WIP)-puskuri on nolla.
2. Työn virtaus (operaatiot, T)
- 2.1. Tasaiset tuotantonopeudet: tehtävän suoritusajan (tuotantonopeus kertaa työn määrä) ero työryhmien välillä on nolla.
 - 2.2. Tehtävään käytettävä aika on mahdollisimman pieni. (ei valmistelua tai tarkistusta, arvoa tuottamaton työ minimissä)

Täydellistä virtausta ei voida kuitenkaan todellisuudessa Sacksin (2016) mukaan saavuttaa, ja tätä määrittelyä täytyy käyttää hänen mukaansa verraten arvioitavaa tilannetta muihin vastaaviin tilanteisiin. Absoluuttista virtauksen arviointia ei siis pystytä tekemään, mutta parannuksia joillain näistä osa-alueista voidaan pitää virtauksen parantumisena (Sacks 2016).

2.1.2 Vaihtelu

Tarpeettomien tehtävien poistamisen lisäksi olennainen osa virtausten, ja siten tuotannon, parantamista on vaihtelun vähentäminen (Lindhard 2014; Ballard 2000). Vaihtelulla on kaksi tyyppiä: tehtäviin käytetyn ajan vaihtelu ja näiden aloituksessa oleva vaihtelu (Spearman ja Hopp 1996). Vaihtelu on olennainen teema missä tahansa tuotannossa, ja sen vähentäminen onkin ollut tuotannonohjauksen päätavoitteita tehdastuotannon alkuaajoista ja sittemmin rakentamisessa (Crichton 1966; Shewhart 1931). Sen tuomaa kaaosta täytyy saada hallittua, jotta tuottavuutta voidaan nostaa ja tuotantoa parantaa (mm. Arashpour et al. 2014; Colledani et al. 2010; Koskela 2000). Rakennusalan luonteen takia vaihtelua on kuitenkin mahdotonta poistaa täysin (Lindhard et al. 2019). Sitä ja sen vaikutuksia voidaan kuitenkin vähentää. Työntekijöiden arvoa tuottavan prosessoinnin suojaaminen vaihtelulta ja epävarmuudelta onkin esimerkiksi LPS-menetelmän päätavoitteita (Ballard 2000).

Mikä sitten aiheuttaa vaikeuksia tehtävän aloituksen ja pituuden varmistamisessa? Rakennustuotanto muodostuu Koskelan (2000) mukaan prosessointitehtävistä, joilla on merkittävä määrä edellytyksiä, eli tehtävien onnistuneeseen toteuttamiseen vaadittavia asioita. Hän esittää edellytyksiksi seitsemän tekijää, jotka on esitetty kuvassa 7. Jos yksikin näistä puuttuu, tehtävä keskeytyy tai hidastuu. Ja kuten esitetty, rakennusalan luonteesta johtuen edellytysten varmistaminen voi olla vaikeaa.



Kuva 7 Tuotantotehtävän seitsemän edellytystä (Koskela 2000).

Edellytysten varmistamisessa olevan epävarmuuden vaikutusta tuotantoon voidaan havainnollistaa seuraavasti: jos todennäköisyys yhden edellytyksen puuttumiselle on 5%, todennäköisyys koko tehtävän onnistumiselle odotetusti on $0,95^7 = 0,70$ eli 70% (Koskela 2000). Kuten mainittu, lähtökohtana LPS-menetelmän kehittämiseksi oli juuri huomio siitä, että vain 35%-65% tuotantotehtävistä rakennusprojekteissa toteutui suunnitelmien mukaan ja siitä kuinka vaikeaa luotettava tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus on tämänkaltaisessa ympäristössä (Ballard 2000). Tutkittaessa vaihtelua ja sen syitä tehtävien aloituksissa ja kestoissa on päästy vastaavanlaiseen tulokseen: erilaiset tekijät aiheuttivat vaihtelua yli 19 tuntia työviikossa, mikä vastaa noin 52% luotettavuutta viikkosuunnitelmalle. Tärkeimpiä vaihtelun aiheuttajia olivat kyseisessä tutkimuksessa: (1) vastausaika suunnittelijoilta suunnitelmakysymyksissä, (2) edellisten tehtävien valmistuminen, (3) tarvittavien lupien saaminen, (4) virheet suunnitelmissa, (5) uudelleen tehtävä työ, (6) jutteleminen työkalvereiden kanssa, (7) myöhästyminen töistä tai aikaisin lähteminen, (8) sääolosuhteet, (9) työryhmän puutteellinen taito ja (10) työnjohtajalta tarvittava ohjeistus. (Wambeke et al. 2011) Tämänkaltaiset asiat siis estävät tai keskeyttävät suunnitellun tehtävän ja aiheuttavat jompaakumpaa kahdesta vaihtelutyypistä.

Vaihtelun aiheuttamiin ongelmiin tuotannossa voidaan vastata kahdella tavalla: vähentämällä vaihtelua tai vähentämällä sen vaikutuksia. Vaihtelun vähentäminen tapahtuu varmistamalla tehtävien edellytykset sen aloituksessa ja pitämällä edellytykset kunnossa koko tehtävän ajan (Ballard 2000), jolloin optimitilanteessa tehtävä toteutuu suunnitellusti ja tehtävien ketjussa aloitukset tapahtuvat ajallaan. Jos ja kun vaihtelua silti syntyy, tuotantoprosessissa voidaan tehdä jotain seuraavista: nostetaan puskureilla edellytysten täytymisen todennäköisyyttä, hyväksytään resurssien heikompi tuottavuus tai hyväksytään heikompi tuotantonopeus puutteellisista edellytyksistä johtuen (Koskela 2000). Kun osapuolilla on tavoitteena tehdä mahdollisimman tuottavasti työtä ja pysyä suunnitellussa tuotantonopeudessa, päädytään yleensä puskuroinnilla vaikutusten vähentämiseen (Lindhard 2014).

Puskureita on jokaisessa tuotantosysteemissä, ja niiden tarkoituksena on nimenomaan suojata tuotantoa vaihtelulta (Bølviken et al. 2014). Erilaiset aikapuskurit ovat varmasti tuttuja rakennustuotannon parissa työskennelleille. Niitä tarvitaan, jotta tuottava työ pysyy jatkumaan odottamattomista ongelmista huolimatta. Puskureiden käytön harkinta ja suunnittelu on kuitenkin oleellista virtauksen parantamisessa, ja tässä työssä tutkittavat

tuotannonohjausmenetelmät vastaavatkin niiden käyttöön. Rakennustuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa käytetään yleisesti alla listattuja neljää puskuria (Frandsen et al. 2015). Näiden lisäksi on esitetty toisiksi rakennusalan puskureiksi rahallista puskuria ja varastoja eli materiaalipuskureita (Russell et al. 2013). Työn rajauksen vuoksi projektin taloutta tai logistiikkaa ei käsitellä, joten kyseiset puskurit on jätetty pois listauksesta.

1. Tila: tila, jossa ei työskennellä ja joka ei ole lopullisesti valmis
2. Kapasiteetti: ennustettua tarvetta useamman työntekijän tai työkalun asettaminen tehtävälle
3. Varamesta: ylimääräisten tehtävien suunnittelu keskeytymisen tai esteen varalle
4. Aika: tehtävän mitoittaminen suunniteltua pidemmäksi tai liikkumavara tehtävän aloituksessa

Työn aloittaminen ajallaan suunnitelman mukaisessa sijainnissa on tärkeää niin aikataulun pitävyyden, kuin aliurakoitsijan sitoutumisen kannalta (Sacks ja Harel 2006). Rakennustuotannossa tehtävät ovat myös hyvin riippuvaisia toisistaan, eli edellisen tehtävän myöhästyminen vaikuttaa suoraan seuraavaan tehtävään. Puskureilla pyritään vähentämään edellisen tehtävän vaihtelun vaikutusta seuraavaan tehtävään, jotta vähennetään kasautuvien viiveiden riskiä (Seppänen 2009).

Vaihtelu aiheuttaa myös muita yhteistoiminnallisuuteen liittyviä ongelmia tuotannonsuunnitteluun. Aliurakoitsijalle on tärkeää saada tehtyä ansioita tuottavaa työtä koko työpäivän (Sacks ja Harel 2006). Jos tehtävä valmistuu ennen aikojaan tai keskeytyy ulkoisista syistä, työryhmälle täytyisi löytää tuottavaa tehtävää jostain muualta tähän vastaamiseksi. Lindhard (2014) esittää simulaation pohjalta, että tästä syystä pitkät tehtävät ovat parempia kuin lyhyet: pitkissä tehtävissä vaihtelu molempiin suuntiin tasaantuu, mikä tukee ajatusta siitä, että aikataulusuunnittelussa tehtävät tulisi suunnitella jatkuviksi työryhmille. Toisaalta työntekijöiden tarve työlle tuo varamestojen suunnittelun tärkeäksi osaksi tuotannonsuunnittelua (Ballard ja Howell 1994). Aliurakoitsijoiden motivaatioita käsitellään enemmän yhteistoiminnallisuutta koskevassa kappaleessa ja puskureiden käyttöä LBMS-sekä tahtimenetelmiä koskevassa kappaleessa.

Vaihtelun vaikutusta havainnollistavassa Tommelein et al. (1998) kehittämässä ”Parade Game” -pelissä esitetään, että koska rakennusosien valmistaminen tapahtuu sarjana eri osapuolten toteuttamia tehtäviä, näiden tehtävien välillä olevalla vaihtelulla on suuri vaikutus tuotannon toteutumiseen. Jos vaihtelu on suurta, työryhmät eivät joko saa tarvittavia edellytyksiä työnteolle ja tuottavuus kärsii tai tuotannonohjaus joutuu käyttämään suuria puskureita tehtävien välillä tuottavuuden varmistamiseksi. Kumpikin tuo hukkaa prosessiin. Ballesteros-Pérez et al. (2019) esittävätkin laajahkon, 101 projektia tutkineen tutkimuksensa pohjalta rakennustuotannossa tehtävien valmistuvan keskimäärin ajoissa, mutta niiden suuren, keskimäärin 60% tehtävän kestosta olevan vaihtelun olevan lopulta syynä projektien jäämiseen aikataulusta. He esittävät myös suurien budjetin ylitysten olevan odotettavissa jos tehtäviä alkaa myöhässä projektin loppupuolella.

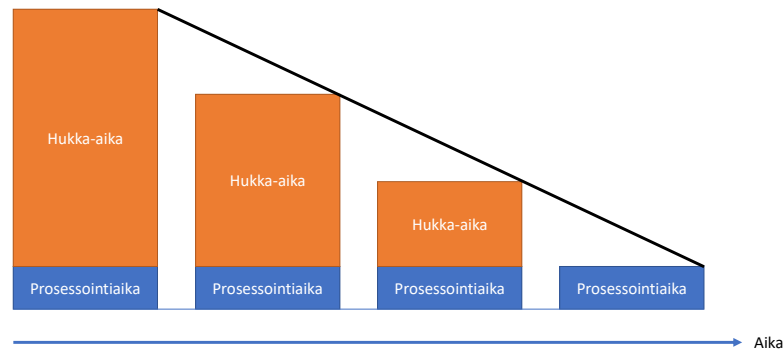
Tässä kappaleessa esitettiin vaihtelun ja sen vaikutusten hallitsemisen olevan tärkeää paremman virtauksen ja projektin lopputuloksen saavuttamiseksi. Tuotannonohjausmenetelmiä voidaan vertailla niiden näitä hallitsevien ominaisuuksien sekä puskureiden käytön kautta. Lisäksi tapaustutkimuskohteen tuotannonohjauksen onnistumista voidaan arvioida toteutuneiden tehtävien suunniteltuun verrattujen aloitusten ja niiden kestojen kautta.

2.1.3 Hukka lean-ajattelun perustana

Hukan vähentäminen on lean-ajattelun perusta. Kuten alussa esitettiin, hukka on arvoa tuottamatonta toimintaa ja lean-periaatteiden mukaisesti se tulee poistaa tuotantoprosessista. (Liker 2003; Womack et al. 1990) Hukan käsite erottaa yhtenä osana lean-rakentamisen menetelmät muista menetelmistä. Ohno (1988) määritteli alunperin Toyota Production Systemin kehityksessä seitsemän hukkaa ja esitti, että nämä poistamalla vähennetään tuotannon kustannuksia ja nostetaan tuottoja:

- Ylituotanto
- Odottelu ja viivästykset
- Kuljettaminen
- Prosessointi itsessään
- Varastot
- Liike
- Viallisten tuotteiden tekeminen

Hukkaa on tuotantojärjestelmässä Koskelan (2000) mukaan kolmesta juurisyystä johtuen: tuotantojärjestelmän rakenne, tapa ohjata tuotantoa ja tuotannon perimmäinen luonne. Tuotantojärjestelmän rakenne tarkoittaa fyysistä virtausta, jonka materiaali ja informaatio kulkee tuotteen valmistamiseksi. Joka kerta kun tuotanto jaetaan osiin, tarkastusten, liikkumisen ja odotuksen määrä kasvaa. Samalla tavalla tuotantotilojen fyysinen rakenne tuo hukkaa liikkumisen ja materiaalien kuljettamisen muodossa. Tuotannonohjaustapa itsessään vaikuttaa hukan määrään, ja jos siitä poiketaan, saattaa syntyä hukkaa. Lisäksi tuotannolle on luontaista virheitä, koneiden rikkoutuminen, vahingot ja inhimilliset tekijät. (Koskela 2000) Kuvassa 8 havainnollistetaan, miten hukan poistaminen lyhentää tehtävien kestoa ja täten läpimenoaika.



Kuva 8 Läpimenoaikaa voidaan lyhentää poistamalla hukkaa. Läpimenoaika koostuu prosessointiajasta, tarkastusajasta, odotusajasta ja siirtymisajasta. (Koskela 2000)

Esimerkkinä Ohnon näkemyksestä ja TPS:n mukaisesta filosofiasta voidaan esittää Likerin (2003) mukaan hukan poistamisen näkökulmasta järjenvaistaiselta tuntuvia, mutta Toyotan menestyksen mahdollistaneita toimia: “usein on parasta korvata hukan poistamisesta työntekijöille aiheutunut työn vähentyminen” ja “ei ole ehkä tärkeintä pitää työntekijöitä mahdollisimman työllistettyinä ja kiireisinä, vaan tehdä tuotantoa asiakkaan tarpeen mukaan”. Hukan määrittäminen tehdastuotannon ulkopuolella rakennusosalalla on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi. Esimerkiksi Ohnon ylituotanto ei oikein vertaudu rakennusosalalle, jossa projektit suunnitellaan ja valmistetaan tilauksesta (Koskela 2000). Toyotan tavasta voidaan kuitenkin miettiä, millä tavalla esimerkiksi rakennusosalalle tyypillinen tarve pitää resurssit mahdollisimman kiireisenä suhtautuu hukkaan.

2.1.4 Hukka rakennusosalalla

Rakennusosalalla esiintyvän hukan voidaan katsoa olevan osittain erilaista kuin tehdastuotannossa (Bølviken et al. 2014). Viana et al. (2012) esittävät kuitenkin laajan kirjallisuuskatsauksen pohjalta rakennusosalalla vallitsevan käsityksen hukasta olevan vaihtelevaa ja sitä käsittelevien julkaisujen määrän olevan vähäistä. Bølviken et al. (2014) tekevät samankaltaisen huomion, ja esittävät TFFV-mallin ja Ohnon (1988) hukkatyyppien pohjalta taulukossa 2 määriteltyjä hukkia rakennusalan hukkatyypeiksi. Hukkatyyppit jaetaan esityksessä muunnoksessa olevaan hukkaan (materiaali, energia, koneet ja työ), virtauksessa olevaan hukkaan (aika) ja arvontuotossa olevaan hukkaan. Tässä työssä hukkaa käsitellään Bølviken et al. (2014) esityksen mukaisesti, ja näkemyksen tueksi tässä kappaleessa esitellään heidän tutkimuksessa esitetyt argumentit hukkajaotteluun liittyen.

Taulukko 2 Rakennuslalle sopiva hukkaajaottelu. (Bølviken et al. 2014)

	Muunnos (T)	Virtaus (F)	Arvontuotto (V)
Tuotantoresurssit	Materiaalit, koneet, energia ja työ	Aika	
Hukan tyyppi	Materiaalihukka	Aikahukka	Arvohukka
Hukka	1. Materiaalihukka 2. Epäoptimaalinen materiaalien käyttö (tuotteeseen käytetään liikaa materiaaleja) 3. Epäoptimaalinen koneiden, energian tai työn käyttö (tuotteeseen käytetään liikaa jotain näistä)	Työn virtauksessa: 1. Ihmisten tarpeeton liikkuminen 2. Tarpeeton työ 3. Tehoton työ 4. Odottaminen Tuotteen virtauksessa: 5. Tilassa ei tehdä työtä 6. Materiaaleja ei prosessoida 7. Materiaalien turha siirtäminen	Tuote: 1. Laatuvaaje 2. Tuote ei ole tarkoituksenmukainen Sivutuote: 1. Haitalliset päästöt 2. Tapaturmat ja työhön liittyvät sairastumiset

Alkuperäisiin Ohnon (1988) esittämiin seitsemään hukkaan on esitetty rakennusalan kontekstiin sopivia lisäyksiä. Koskela (2004) esitti alunperin rakennusalan kahdennakseksi hukaksi Making do -hukkatyyppin, joka tarkoittaa tilannetta, jossa tuotantotehtävä aloitetaan ilman kaikkia esivaatimuksia (Esitetty kuvassa 7), tai tuotantotehtävän suorittamista jatketaan vaikka joku esivaatimuksista poistuisi. Koskela et al. (2013) esittävät tämän olevan mahdollisesti yksi rakennusalan tärkeimmistä hukkatyypeistä. Taulukon 2 listaukseen Bølviken, Rooke ja Koskela (2014) eivät sitä kuitenkaan sisällyttäneet erikseen hukkatyyppinä, vaan uusimmassa näkemyksessä he esittävät kuvaillun hukan kuuluvan tehottoman työn hukkaan (3. hukka virtauksessa). He esittävät, että making do, eli tehtävän aloittaminen ilman edellytyksiä voidaan nähdä ennemminkin haitallisena yrityksenä vähentää puuttuvien edellytysten vaikutusta koko prosessissa. He esittävät, että vaikka tehtävän aloittaminen tuntuisikin hetkessä parhaalta vaihtoehdolta (vältetään odottelua), se saattaa hukan vähentämisen sijaan aiheuttaa kokonaiskuvan kannalta negatiivisia vaikutuksia, kuten piilottaa hukkaa, estää juurisyiden löytämisen tai jopa aloittaa hukkaa aiheuttavien tapahtumien ketjun.

Toinen rakennusalan hukkaa käsiteltäessä esiin tuleva asia on arvon vähentyminen tehtävässä (Patton 2013). Tämä tarkoittaa, että tuote tehdään vastoin ohjeita tai muuten puutteellisesti. Bølviken et al. (2014) esittävät tämän kuuluvan laatuvaajehukkaan (1. hukka arvontuotossa). Nämä laatuvaajeet eivät tule esiin tai jos tulevat, niille ei tehdä mitään. He esittävät, että tämänkaltaisen hukka voisi kuulua erillisenä hukkatyyppinä muunnoksen hukkaan, eli “ei tehdä, mitä kuuluisi -hukka”.

Aiemmin esitellysti erilainen puskurointi on tavallista rakennuslalla. Bølviken et al. (2014) mukaan puskurointi on kuitenkin vain tapa välttää yhtä hukkaa lisäämällä toista hukkaa. He esittävät kuitenkin edellä esitellyn mukaisesti jatkuvan virtauksen ilman puskureita olevan vain ideaalitalanne, ja että todellisuudessa puskureita on jokaisessa tuotantosysteemissä. Tarkoituksena lean-periaatteiden mukaisesti olisi Bølviken et al. (2014) mukaan kuitenkin vähentää nämä mahdolliseen minimiin. Näin puskurien vähentämisen vaihtelun lisääntymisestä huolimatta paradoksaalisesti saadaan leanimpi tuotanto, koska virheet ja keskeytykset tulevat esiin ja niitä saadaan poistettua.

Lisäksi taulukossa 2 esitellyt hukkatyyppit kuvaavat vain tuotannon hukkaa. Bølviken et al. (2014) mukaan suunnittelu on tiukasti läsnä rakentamisessa ja, että suunnitteluun liittyvän

hukan ja tuotannon hukan välillä voisi olettaa olevan vahvoja yhteyksiä. Esitelty jaottelu sopii kuitenkin tämän työn tarkoituksiin, sillä tarkastelun alla on vain tuotannonohjauksen ja suunnittelun vaikutus TFV-mallin kuvaaman tuotannon hukkaan. Tämän työn tarkastelussa suunnittelua voi pitää ohjeistuksena ja esivaatimuksena, joka toteutetaan sellaisenaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että vaikka jokin rakennusosa olisi tuotannon mielestä sopivampi toisenlaisena, sitä on pidettävä tarkoituksenmukaisena ja tavoitteena prosessoinnille sellaisena, kun se on esitetty suunnitelmissa.

Tässä työssä tutkitaan hukkaa virtauksessa. Tapaustutkimuskohteen prosessia tarkastellaan aikataulutuksen sekä tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen näkökulmasta. Työntekijän prosessoinnissa syntyvä hukka ja arvontuottoon liittyvät asiat, kuten laatuvaive, jäävät siis tutkimuksen ulkopuolelle. Tarkasteltavat hukkatyypit ja niiden selitykset ovat (Bølviken et al. 2014):

1. **Ihmisten tarpeeton liikkuminen** - Ihmiset liikkuvat turhaan rakennuksessa, vastaan kohtana työpisteellä olemiselle.
2. **Tarpeeton työ** - Tehdään asioita, joita ei tarvitse tehdä.
3. **Tehoton työ** - Tehdään tarpeellisia asioita tehottomalla tavalla, esimerkiksi ilman esivaatimuksia tai toisten häiritessä työntekoa.
4. **Odottaminen** - Työntekijät odottavat työtä.
5. **Tilassa ei tehdä työtä** - Tila on keskeneräinen, mutta sitä ei edistä kukaan. Voidaan nähdä myös turhana varastona.
6. **Materiaaleja ei prosessoida** - Materiaalien varastointi työmaalle.
7. **Materiaalien turha siirtäminen** - Materiaalien siirto lopulliselle paikalleen on tarpeellista, kaikki muu siirtely on hukkaa.

Näiden hukkatyyppien määrää ja syitä arvioimalla saadaan viitteitä tuotannonohjauksen onnistumisesta. Koska virtauksessa syntynyt hukka on tällä määritelmällä aikahukkaa, sen täsmällisen määrän löytämiseksi täytyisi seurata työntekijöiden ajankäyttöä. Kuitenkin koska hukka on lähinnä oire muista ongelmista, jo hukan tyyppin ja aiheuttajan löytämisellä voidaan saada tietoon puutteista prosessissa.

2.2 Yhteistoiminnallisuuden määrittely

Tutkimuksen näkökulmana rakennustuotannon parantamiseen on yhteistoiminnallisuus ja sen vaikutus virtausten parantamiseen ja sitä kautta hukan vähentämiseen. Jotta tätä näkökulmaa voidaan käsitellä, yhteistoiminnallisuus ja sen suhteutuminen tutkittaviin menetelmiin täytyy määritellä. Yhteistoiminta on lean-rakentamisyhteisölle olennainen osa ajatusta tuotannon parantamisesta - hakusanalla 'collaboration' löytyy 175 tulosta IGLC-verkoston julkaisulistasta. Aihe liittyy kaikkeen: esimerkiksi allianssimalli ja tavoitteet rakennusalan luottamuksen parantamisesta pohjautuvat eri osapuolten tuomiseen yhteen.

Rakennustuotanto on yhteispeliä. Kuten esitetty, rakennusprojekteille on ominaista niiden ainutlaatuisuus ja kompleksisuus: toteuttavat osapuolet vaihtuvat lähes jokaisessa projektissa, ja ovat yhdistelmä eri erikoisalojen yrityksiä. Nämä yritykset ovat mukana saadakseen tehtyä voittoa omalla osuudellaan urakkasopimusten puitteissa. Skinnarland ja Yndesdal (2010) kuvailevat rakennusalalla olevan konfliktien kulttuuri (Loosemore et al. 2000; Jorgensen et al. 2004). Jokainen projektissa toimiva osapuoli on riippuvainen muista toimijoista, mutta haluaa optimoida omaa toimintaansa. Vaux ja Kirk (2018) esittivät tutkimuksessaan konfliktien ja huonojen suhteiden heikentävän tulosta, tuottavuutta ja aikataulussa pysymistä projekteissa, ja että luottamuksella ja hyvällä kommunikoinnilla pystytään vähentämään näitä osaoptimoinnin sekä kompleksisen ympäristön haittavaikutuksia.

“Ongelma on siinä, että tuotantojärjestelmät eivät toimi hyvin, kun jokainen yrittää optimoida omaa tekemistään ilman, että ymmärtävät miten heidän toimintansa vaikuttavat koko järjestelmään.” (Howell 1999)

Skinnarlandin ja Yndesdal (2010) mukaan sopimusten tarkoitus on kuitenkin enemmän valmistella yritystä konfliktiin kuin yhteistoimintaan (Grimsmo 2008). Pahinta on se, että alalla konfliktit ovat arkipäivää. Kiire, ongelmat, tulipalot, lupausten pettäminen ja toisten syyttely ovat tuttuja työmaatuotannossa. Tällaista toimintaa pidetään rakennusalalle ominaisena: *“Näin ne asiat vain ovat rakennusalalla”* (Skinnarland ja Yndesdal 2010). Latham (1994) esitti jo vuonna 1994 tekemän huomion aliurakoitsijoiden merkityksestä:

“Erikoistuneiden aliurakoitsijoiden suorituskyky on olennaista oman organisaatiomme menestyksessä. Jos pystymme parantamaan heille antamaamme tukea, tuotteiden ja palveluiden laadusta tulee mitattavasti parempia ... Ja se myös vähentää ristiriitoja.”

Tilanne ei ole yleisesti yhteistoiminnallisuuden kannalta kovinkaan hyvä, vaikka LPS ja muut osallistamiseen kannustavat toimintatavat on otettu rakennusalalla kokeiluun ja jopa osaksi toimintajärjestelmiä. McConaughy ja Shirkey (2013) esittävät LPS:n implementoinnin olevan usein puutteellista, ja osien käyttämättä jättämisen vähentävän tai jopa poistavan kokonaan aliurakoitsijoiden sitoutumisen projektin aikatauluun ja tavoitteisiin. Työmaat toimivat edelleen omien tottumustensa mukaisesti ja jokaisella tuotannonsuunnittelusta ja -ohjauksesta vastaavalla työnjohtajalla on omat tapansa ja näkemyksensä siitä miten asiat tulisi tehdä (Freeman ja Seppänen 2014). Likert ja Likert (1976) esittävät tähän liittyvän taulukon 3 mukaisen mallin organisaatioiden luokittelusta sosio-rakenteellisten ominaisuuksien perusteella:

Taulukko 3 Systeemityypit sosio-rakenteellisten ominaisuuksien perusteella. (Likert ja Likert 1976)

Taso	Organisaation ominaisuudet
Yksi	Hyväksikäyttävä, itsevaltainen, uhkaileva ja rankaiseva ympäristö, jota kuvaa vähäinen luottamus esimiesten ja alaisten välillä. Suurin osa päätöksenteosta on keskittynyttä. Reaktiona tähän vastakkainasettelevaan ympäristöön syntyy yleensä epävirallinen organisaatio, jossa alaiset pyrkivät vastustamaan organisaation tavoitteita ja seuraamaan omia intressejään.
Kaksi	Lempeä mutta autoritäärinen ympäristö, jossa on korkea määrä ohjailua, mutta vähemmän konfrontaatioita. Tämänkaltaisen käyttäytyminen syntyy alaisten vastahakoisesta, mutta alistuvasta luottamuksesta esimiehiin. Organisaatiossa annetaan muodollisia vastuita alaisille, mutta tärkeät päätökset pidetään organisaation ylemmillä tasoilla. Alemmilla tasoilla työskentelevillä on vähäinen samaistuminen organisaation tavoitteisiin, eivätkä he tunne olevansa olevansa vastuussa niiden saavuttamisesta.
Kolme	Konsultatiivinen ympäristö, jota kuvaa kohtalaisen luotettava ja hajautettu päätöksentekorakenne, jossa tieto virtaa ylös ja alas organisaatiossa. Tässä ympäristössä on kohtalainen määrä osallistumista päätöksentekoon, toistuvia rahallisia palkkioita, mutta satunnaista rankaisua, joka on kuitenkin enemmän poikkeus kuin normi.
Neljä	Ympäristö, joka korostaa osallistavaa ryhmätyöskentelyä, ja jota kuvaa täydellinen, yhteinen luottamus kaikkien eri organisaatiotasojen välillä. Päätöksenteko on hajautettua ja organisaatiossa vallitsee samaistuminen yhteisiin tavoitteisiin. Tuloksena syntyy avoin ja integroitu kulttuuri, jossa on vain vähän erottelua virallisen ja epävirallisen tiedonkulun välillä sekä terve määrä horisontaalista sekä vertikaalista kommunikointia ja yhteistyötä.

Edellä esitettyjen rakennusalan ongelmien pohjalta voi ajatella tavallisen työmaaorganisaation olevan ehkä tasolla kaksi tai kolme. Erilaisilla esimiehillä rakennusalalla on omat johtamistyylinsä ja suhtautumisensa "alaisiin", eli tässä tapauksessa työn suorittaviin työntekijöihin. Nostamalla aliurakoitsija- ja työntekijäosapuolen päätöksentekovaltaa tuotannonohjauksessa syntyi myös vastuutusta, ohittaen hierarkisen rakenteen ongelmat ja saaden organisaatioita korkeammalle tasolle.

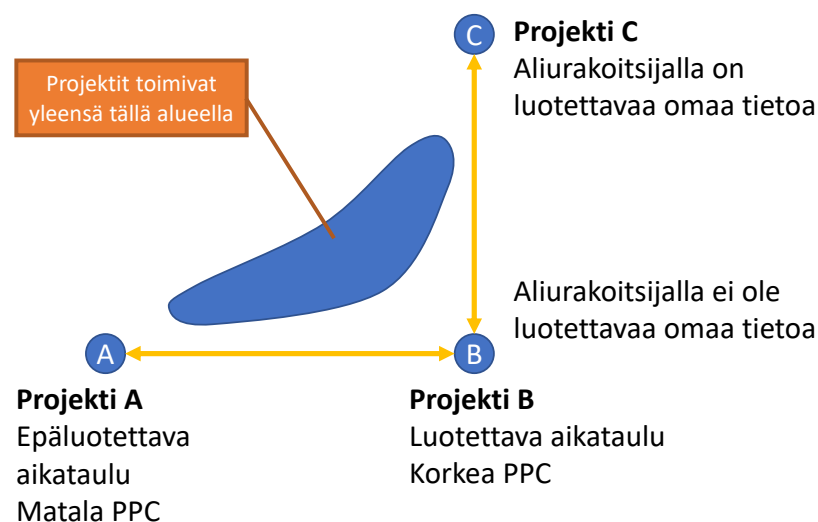
"Käytä aliurakoitsijoiden ammattitaitoa ja tietoa hyväksi enemmän, niin huomaat, että aliurakoitsijat pystyvät ja haluavat vaikuttaa enemmän." (Latham 1994)

Tässä työssä keskitytään tutkimaan missä tilanteissa työmaalla syntyy työntekijän suorittamiseen vaikuttavaa päätöksentekoa, konfliktien selvittämistä tai suunnittelua ja parantuuko virtaus ottamalla työntekijät, nokkamiehet tai työmaalla täysipäiväisesti työnjohdosta vastaavat henkilöt tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaamiseen. Lisäksi tutkitaan mitkä käytännöt mahdollistavat tuotannon toteuttavien osapuolten ottamisen mukaan realisoimaan näitä hyötyjä.

2.2.1 Luottamuksen ja vaihtelun vaikutus aliurakoitsijan käyttäytymiseen

Luottamuksella ja aikataulun luotettavuudella on suuri vaikutus itsenäisesti toimivien aliurakoitsijoiden sitoutumiseen ja käyttäytymiseen. Sacks ja Harel (2006) esittävät Sacksin (2004) kehittämän taloudellisen mallin pohjalta kiinteällä hinnalla tai yksikköhinnalla töitä tekevien urakoitsijoiden olevan taipuvaisia tarjoamaan pyydettyä vähemmän työntekijöitä työmaalle, jos aikataulu on epävarma. Sacksin ja Harelin (2006) kehittämä peliteoriamalli jatkaa tätä löydöstä, ja esittää aikataulun luotettavuuden olevan yksi tärkeimpiä aliurakoitsijoiden käyttäytymiseen vaikuttavia tekijöitä. He esittävät, että aliurakoitsijoilta voi odottaa yhteistyötä vain, jos tuotantosuunnitelmat ovat luotettavia ja aliurakoitsijoilla on täysi tieto projektinjohtajan tavasta pyytää resursseja (pyytääkö enemmän kuin on tarve vai oikein).

Peliteoriamallin mukaiset projektissa mahdolliset tiedon jakautumiset projektinjohtajan ja aliurakoitsijoiden välillä esitetään kuvassa 9. Projekti A:ssa projektinjohtajalla ei ole varmaa tietoa aikataulusta, mutta aliurakoitsijalla ei ole myöskään omaa tietoa. Projekti C:ssä projektinjohtajalla ei ole varmaa tietoa, mutta aliurakoitsijalla on omaa tietoa. Projekti B:ssä PJU:lla on varmaa tietoa aikataulusta, mutta aliurakoitsijalla ei ole omaa tietoa työmaan tilanteesta. Mallin mukaisesti yhteistyön kannalta sopiva tasapaino, jossa oikea määrä resursseja pyydetään ja tarjotaan, tapahtuu ainoastaan lähestyessä projektityyppi C:tä. Jos kummallakaan osapuolella ei ole luotettavaa tietoa, molemmat vetäytyvät omalta



Kuva 9 Resurssinjakotilanteessa olevan tiedon ääritapaukset. (Sacks ja Harel 2006)

Mallin pohjalta voidaan sanoa, että parantamalla aikataulun laatua ja aliurakoitsijoiden tilannekuvaa esimerkiksi LPS:n avulla päästään lähemmäs kuvan 9 ideaalitilannetta C. Tällöin projektinjohto voi luottavaisesti pyytää oikean määrän resursseja ja aliurakoitsija

vastata pyyntöön oikealla määrällä. (Sacks ja Harel 2006)

Työmaan osapuolten käyttäytymistä on tutkittu myös oikeilla työmailla. Freeman ja Seppänen (2014) esittivät aliurakoitsijan keskittävän resursseja ennustettaville ja tuottaville projekteille, ja tämän käyttäytymisen usein tapahtuvan muiden urakoitsijoiden ja projektin kustannuksella. Vastaavat työnjohtajat taas heidän mukaansa toimivat tavallisesti omien havaintojensa sekä intuition ja kokemuksen turvin lähinnä reagoiden ongelmiin eikä niinkään suunnitellen tulevaa. Vastaavat työnjohtajat keräävät ”syytöslistaa”, jotta voivat vauhdittaa aliurakoitsijoiden töitä ja aliurakoitsijat keräävät ”tekosyiden listaa” välttyäkseen syytöksiltä (Freeman ja Seppänen 2014). Sacks ja Harel (2006) esittävät teettämänsä kyselyn pohjalta käyttäytymistä kuvaavia vastauksia kysymyksiin:

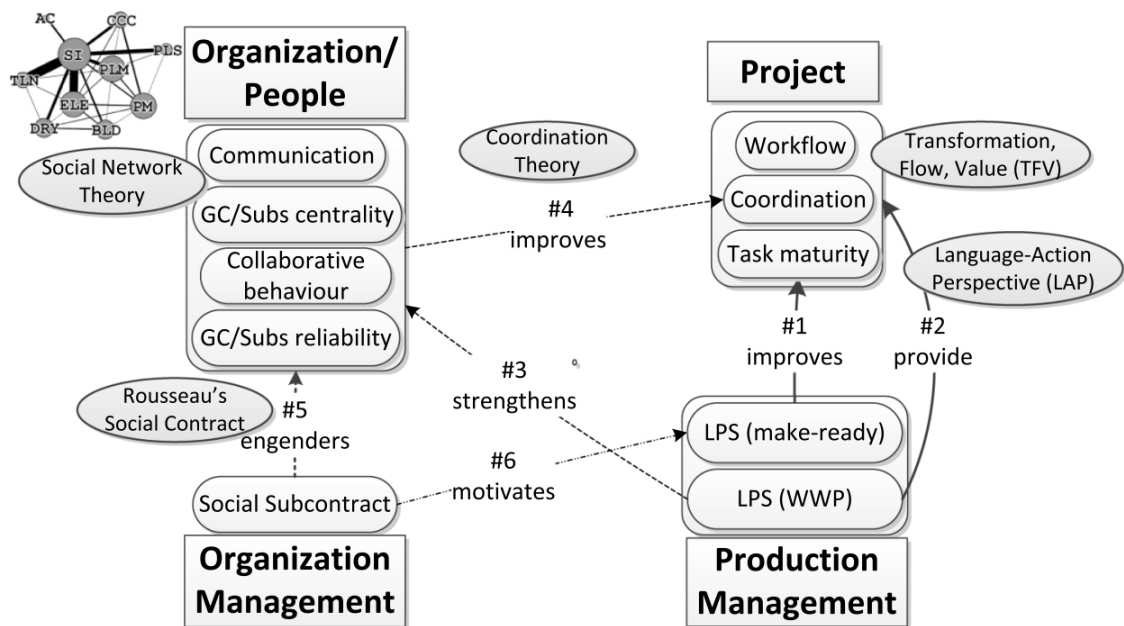
”Kun pyydät resursseja aliurakoitsijalta, kuinka paljon liioittelet työn määrää?” - 48,3% vastaajista kertoivat liioittelevansa työn määrää ainakin 20 prosentilla.

”Kuinka suuren osan pääurakoitsijan ilmoittamasta työmäärästä arvioit tulevan oikeasti valmiiksi sinua varten?” - Yli 85% aliurakoitsijoista arvioivat määrän olevan alle 80%. Keskimääräinen arvio oli 60%, 19,7% keskihajonnalla.

Kompleksisessa projektiympäristössä luottamuksella ja tiedon laadulla on huomattava merkitys onnistumisen kannalta. Informaation ja kommunikoinnin onkin esitetty olevan tärkeimpien aikapuskurointia aiheuttavien tekijöiden joukossa (Russell et al. 2013). Tuotannonsuunnittelussa ja -ohjauksessa on ymmärrettävä projektin toteuttajien motiivit, ja pyrittävä vastaamaan niihin.

2.2.2 Social Subcontract

Priven ja Sacks (2016) tutkivat sosiaalisesta näkökulmasta projektin sisällä tapahtuvaa yhteistoimintaa ja esittivät ”Social Subcontract” (SSub) -menetelmän. He huomasivat, että LPS luo paremman sosiaalisen verkon projektille, vaikka se olisikin vain osittain implementoitu (Myös mm. Viana et al. 2010; Hamzeh 2009; Alarcón et al. 2005). Tämä tarkoittaa, että LPS:llä on teknisen tuotannonohjausfunktion lisäksi sosiaalinen vaikutus, joka parantaa suhteita tiimin sisällä ja edesauttaa kommunikaatiota sekä koordinoitua. SSub vastaa tähän huomioon tuomalla LPS:n lisäksi uuden alustan eri osapuolten yhteistoiminnalle, lupauksien teolle ja sosiaaliselle vastuulle näiden lupauksien pitämisessä. (Priven ja Sacks 2016) Kuvassa 10 esitetään miten LPS:n osat vaikuttavat organisaatioon (#3) ja itse tuotantoon (#1 ja #2), sekä miten tuomalla SSub-toimintatapa työmaalle rakennetaan entisestään organisaation sisäistä yhteistoimintaa (#5) ja motivoidaan LPS:n mukaiseen tuotannon varmistamiseen (#6).



Kuva 10 Eri menetelmien vaikutus projektin osiin. (Priven ja Sacks 2016)

SSub-prosessi alkaa sarjalla tapaamisia, joissa aliurakoitsijalle annetaan mahdollisuus määritellä olosuhteet ja edellytykset, jotka he tarvitsevat tehokkaaseen työskentelyyn. Tämän jälkeen askeleet, jotka voidaan yhdessä tehdä näihin olosuhteisiin ja edellytyksiin pääsemiseksi. Tämän jälkeen allekirjoitetaan yhdessä “sopimus”, jossa lupaudutaan niin pääurakoitsijan osalta antamaan edellytykset työskentelyyn, kuin aliurakoitsijan osalta sitoutumaan työmaan pelisääntöihin. “sopimus” on täysin sosiaalinen, eikä siinä ole taloudellisia ehtoja. Sopimuksen täyttymistä seurataan tasaisin väliajoin (esimerkiksi kahden viikon välein) seurantataulukolla, joka voidaan sijoittaa esimerkiksi vaihe aikataulun lähelle. Pääurakoitsija ja aliurakoitsijat arvioivat toistensa toiminnan sopimuksen puitteissa, ja merkkäavat joko vihreän, keltaisen tai punaisen hymiön toisen kohdalle seurantatauluun. Tämä saa aikaan sosiaalisen häpeän, jos oma toiminta on pettänyt toiset. (Priven ja Sacks 2016) Kuvassa 11 esitetään Privenin ja Sacksin tutkimuksen kohteissa käytetyt lomakkeet.

Project See Unik - Social Subcontract



Operational excellence in Tidhar

Tidhar

■ Clear and agreed schedule

■ Provide drawings on time

■ Supply raw materials on time

■ Tower crane service on time

■ Payment on time

■ Safe environment

Subcontractors

■ Collaboration

■ Coordination

■ Leave clean work place every day

■ Don't damage others' work

■ Attend weekly meetings, arrive on time

■ Strict obedience of safety rules



Gil, project manager



Taffic, structure superintendent



Sergey, finishing works superintendent

סוכנים ושפירגורן

Alexander, partitions and gypsum

גולדיר עבודות חשמל

Vladimir, electric works



Shalom, plumbing and sprinklers



Moshe, air-conditioning



David/Raz, plastering



Haim, aluminum works



Tiling



Painting

Project See Unik

Social Subcontract Monitoring Board



Commitments

Partitions

Electrical

Plastering

Air Con

Plumbing

Tiling

Drywall

Windows

GC

Clear and agreed schedule

Provided drawings on time

Supplied materials on time

Tower crane service on time

Payments on time

Safe environment

Subcontractors

Collaborate and coordinate

Clean work place every day

Respect others' work

Attend weekly meetings on time

Strict obedience of safety rules

Kuva 11 Vasemmalla sosiaalinen “sopimus”, ja oikealla seurantataulu. (Priven ja Sacks 2016)

Social Subcontractin huomattiin yhdessä LPS:n kanssa implementoituna (Priven ja Sacks 2016):

- Parantavan koordinoitua ja tuotannon virtausta paremmin kuin LPS yksin.
- Vaikuttavan enemmän pääurakoitsijan toimintaan: sopimus motivoi pääurakoitsijaa täyttämään aliurakoitsijoiden työn edellytykset ja näin mahdollistaa paremman virtauksen.

Tärkeä huomio tämän työn kannalta on, että pääurakoitsijan vastuuttaminen ja edellytysten täyttymisen seuraaminen parantaa sen motivaatiota täyttää aliurakoitsijoiden työn edellytykset. Jos halutaan parantaa tuotantoa, sitoutuminen ei voi tapahtua vain yhteen suuntaan, vaan luottamuksen kasvattamiseksi ja osaoptimointiin ajautuvan käyttäytymisen välttämiseksi pääurakoitsijan täytyy tehdä aktiivisesti töitä työskentelyedellytysten täyttämiseksi.

2.3 Tutkittavat tuotannonsuunnittelu ja -ohjausmenetelmät

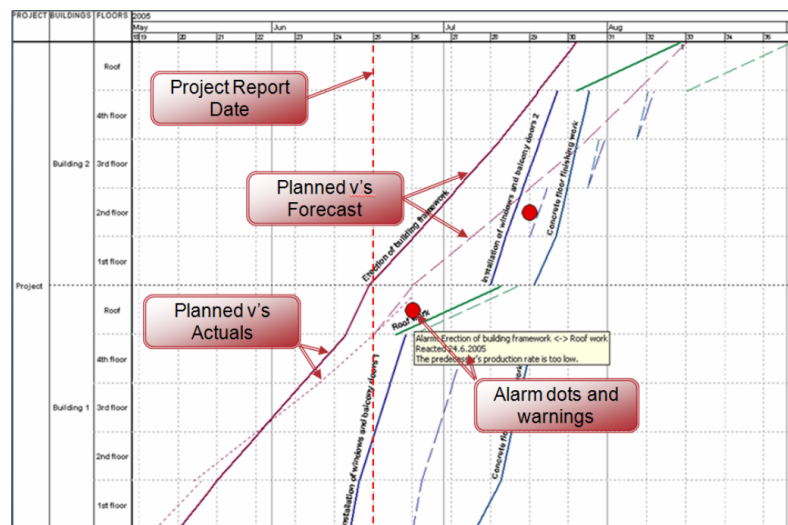
Tutkimuksen kohdeyrityksessä on otettu käyttöön koko yrityksen laajuinen toimintatapa, joka perustuu pääosin LBMS-aikataulutuksella tehtävään yleis- ja vaihe aikataulusuunnitteluun sekä aikatauluseurantaan ja LPS-menetelmän mukaiseen tarkentuvaan työsuunnitteluun. Yrityksellä on myös omat käytännöt työmaan ohjaukseen liittyvien palaverien ja kokousten, sekä työmaan työnjohdon vastuiden suhteen. Lisäksi tapaustutkimuskohteessa on otettu tahtituotantomenetelmä kokeiluun. Tässä kappaleessa esitellään tapaustutkimuksen kohteessa käytössä olevat menetelmät ja niiden pääajatukselliset sellaisena, kuin niiden olisi tarkoitus olla käytössä.

2.3.1 LBMS-menetelmän mukainen aikataulusuunnittelu ja -valvonta

Location Based Management System on Kenleyn ja Seppäsen (2010) kehittämä menetelmä rakennustuotannon suunnitteluun ja valvontaan. Nimensä mukaisesti menetelmä perustuu sijaintien käyttöön aikataulusuunnittelun ja -valvonnan pohjana. Kenley ja Seppänen (2010) esittävät rakennusalan projektinohjauksessa olevan kaksi erilaista lähestymistapaa aikataulutukseen: tehtäväpohjainen ja sijaintipohjainen. Tehtäväpohjainen aikataulutus on heidän mukaansa yleisesti käytössä maailmalla rakennusprojekteissa, ja sen mukaisista menetelmistä kriittisen polun menetelmä (CPM) on ehkä rakennusosalalle tutuin. He esittävät, että tehtäväpohjainen aikataulutus ei sovi kuitenkaan rakennusalan työskentely-ympäristöön ja esittävät luontevammaksi lähestymistavaksi sijaintipohjaisen aikataulutuksen, josta perinteisiä esimerkkejä ovat line-of-balance tai flowline-aikataulutus. Suomessa tämänkaltaiset aikataulut tunnetaan nimellä jana- tai vinoviiva-aikataulu. LBMS:llä onkin näytetty saavutetun parempi työn virtaus kuin kriittisen polun menetelmällä (Olivieri et al. 2018). Kenleyn ja Seppäsen (2010) mukaan sijaintipohjainen aikataulutus on ollut Suomessa rakennusalan perinteenä, eikä tehtäväpohjainen aikataulutus ole juuri juurtunut suomalaiseen rakentamiseen. He esittävätkin, että tämän tuloksena suomalaisista rakennusprojekteista vain pieni osa ylittävät suunnitellun aikataulun.

LBMS-menetelmä jatkaa sijaintipohjaisten menetelmien pitkään jatkunutta kehitystyötä ja yhdistää siihen kriittisen polun menetelmän mukaista tehtävien välistä logiikkaa sekä tavan valvoa toteutunutta tuotantoa ja ennustaa tulevaa toteumien pohjalta (Kenley ja Seppänen 2010; Seppänen 2009). Menetelmällä luodun aikataulun pohjana on sijaintijako, johon tuotantotehtävät sijoitetaan. Sijaintijaossa jaetaan rakennus esimerkiksi lohkoihin, kerroksiin ja tarvittaessa huoneisiin tai tiloihin. Tuotantotehtäville määritetään sijaintikohtaiset määrät, ja kun näihin yhdistetään tehtäville suunniteltu tuotantonopeus, saadaan tehtävään kuluva aika. Menetelmässä asetetaan tehtävien välille järjestys, eli tieto tehtävän vaatimasta edeltävästä työvaiheesta. Lisäksi tehtävien välille voidaan asettaa aika- tai tilapuskureita. Tavoitteena menetelmällä on optimoida aikataulu, jossa tehtävä ei odota työntekijöitä eikä työntekijät tehtäviä. (Seppänen et al. 2010) Menetelmän pohjalta kehitetty Control - Vico Schedule Planner -ohjelmisto luo aikataulun, kunhan siihen syötetään sijaintijako, tehtävien määrät sijainnetaan sekä tehtävien tuotantonopeus.

Menetelmään kuuluvan aikataulun seurannan ja valvonnan avulla saadaan tieto tuotantotehtävien tilasta, sekä ennuste tulevasta toteutuneiden tuotantonopeuksien perusteella. Control-ohjelmisto varoittaa, jos tehtävä on jonkin syyn takia vaarantamassa tulevan tehtävän aloituksen tai jatkumisen keskeytyksettä. Tavoitteena on antaa työmaajohdolle hyvissä ajoin tieto tulevasta ongelmasta, jotta niihin voidaan reagoida etukäteen ja mahdollisesti välttää ne. Täyden hyödyn saaminen vaatii kuitenkin tarkkaa tietoa työmaan tehtävien etenemisestä ja työntekijäresursseista, sekä niiden aktiivista viikottaista tai päivittäistä siirtämistä ohjelmistoon. (Seppänen et al. 2014) Kuvassa 12 esitetään ohjelmiston näkymä, jossa on suunniteltuja tehtäviä, toteumia sekä varoituksia ennustetuista ongelmista.



Kuva 12 Control-ohjelmistolla luotu vinoviiva-aikataulu, jossa on suunnitellut tehtävät (jatkuva viiva), toteuma (pisteviiva), ennuste (katkoviiva) sekä varoitukset (punaiset pisteet). (Seppänen et al. 2010)

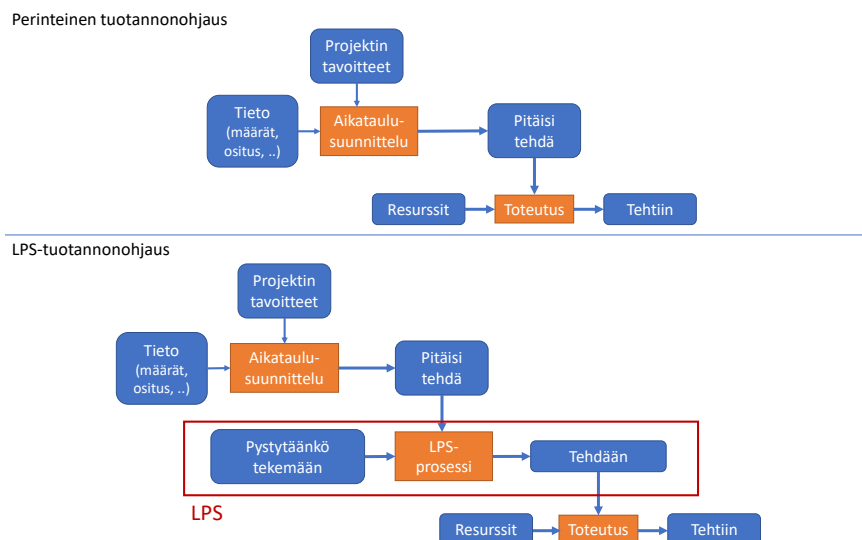
Menetelmä tarjoaa tieto- ja toteumapohjaisen työkalun tuotannon hallintaan. Sen mukaisella hyvällä, tietopohjaisella aikataulusuunnittelulla ja seurannalla voidaan luoda perusta lean-käytäntöjen mukaiselle työn ja tehtävien jatkuvalle virtaukselle sijaintien läpi. Kuten

esitetty, rakennustuotanto on kuitenkin monimutkaista yhteistyötä useiden osapuolten kanssa, ja vaatii kaikkien saamista toimimaan suunnitelmien mukaisesti. LBMS-aikataulutusta ja ohjausta suositellaan tehtäväksi yhteistyössä aliurakoitsijan kanssa (Freeman ja Seppänen 2014), mutta sosiaaliseen suunnittelun ja sitoutumisen prosessiin voidaan tuoda täydentäväksi menetelmäksi Last Planner System. Tällöin hyödynnetään LBMS:n teknistä puolta ja täydennetään puutteita teknisen tiedon hyödyntämisessä tuotannonohjauksessa. (Olivieri et al. 2016; Seppänen et al. 2010)

2.3.2 Last Planner System

Last Planner -menetelmä pyrkii tasaamaan rakennustuotannon työskentely-ympäristön (Ballard ja Howell 1994). Kuten mainittu, tuotannossa on erilaisista syistä suurta vaihtelua ja työn edellytysten varmistaminen on hankalaa. LPS tarjoaa prosessin tuotannon suojaamiseen, suunnitellun aikataulun varmuuden parantamiseen ja virheistä oppimiseen (Ballard 2000). Sen avulla voidaan tehdä tarkentavaa suunnittelua ja päätyä luotettavaan viikkosuunnitelmaan johon sisällytetään ainoastaan tehtävät, joiden aloitusedellytykset ovat kunnossa tai tullaan tekemään kuntoon. Viikkosuunnittelun toteutuskelpoisuuden varmistamisella ja tehtävien aktiivisella valmiiksi saattamisella seuraavia varten pyritään suojaamaan työntekijän työtä tuotannossa ja tätä kautta vähentämään vaihtelua.

Olellaisena osana aikataulun ja tuotannon suunnitteluun tuodaan mukaan 'Last Planner' eli henkilö, joka toteuttaa tehtävän tai vastaa sen toteuttamisesta. Tällä pyritään varmistamaan henkilökohtainen sitoutuminen tehtävän toteutumiseen, sekä tarkin mahdollinen tieto tehtävän sisällöstä ja edellytyksistä. Lisäksi viikkosuunnitelman toteutumisen seurannalla ja häiriöistä sekä ongelmista oppimisella voidaan välttää vastaavanlaiset ongelmat tulevaisuudessa. (Ballard 2000) Kuvassa 13 esitetään konseptina LPS-menetelmän tuoma lisä lyhyen tähtäimen työsuunnitteluun. Menetelmä lisää varmistuksen tehtävän toteutumiskelpoisuudesta sen toteuttavalta osapuolelta ennen sitoutumista tehtävän toteuttamiseen. Tehtävän toteutusedellytykset tarkistetaan ennen kuin se lisätään työntekijöiden tehtävälistalle.

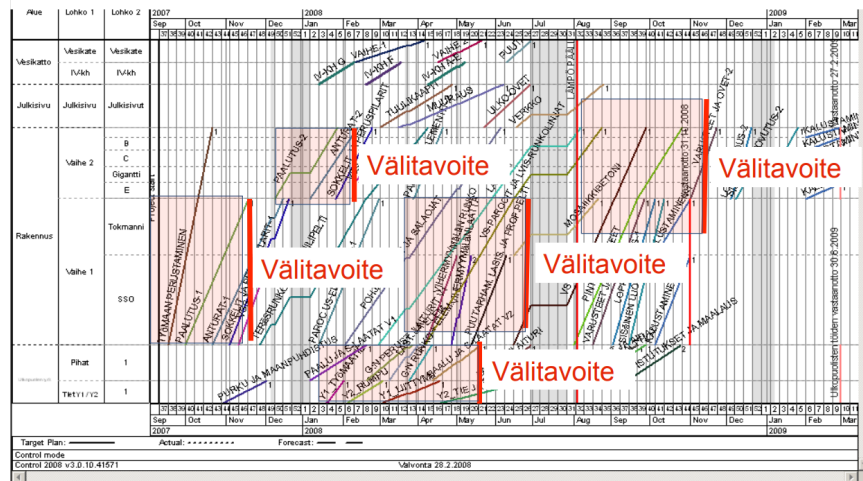


Kuva 13 LPS-prosessi verrattuna perinteiseen. (Ballard 2000) (mukailtu)

LPS-prosessiin kuuluu viisi osaa: yleisaikataulu, vaihe aikataulu, valmisteleva suunnitelma, viikkosuunnittelu ja tehtävien toteutumisen seuranta sekä analyysi toteutumattomien tehtävien syille (2000; 2003a). Seuraavaksi esitellään osien sisältö.

Yleisaikataulu

LPS-menetelmässä yleisaikataulu sisältää yleensä vain vaiheiden valmistumisen tavoitepäivämäärät, erityiset tavoitepäivämäärät ja pitkän läpimenoajan tehtävät (Seppänen et al. 2015; Seppänen et al. 2010). Yleisaikataulun tehtävänä on määrätä eri vaiheiden ajoitus. Lisäksi yleisaikataulua tehdessä suunnitellaan tehtävien jakoa, eli hankintapaketteja ja jakoa urakoihin (Ballard 2000). Kuvassa 14 esitetään havainne välitavoitteista sijaintipohjaisessa yleisaikataulussa.



Kuva 14 Vaihe aikataulutusta ohjaavat välitavoitteet yleisaikataulussa. (Särkilahti 2011)

Vaihe aikataulu

Vaihe aikataulu luo perustan rullaavalle tuotannosuunnittelulle. Sen tarkoitus on luoda vaiheelle suunnitelma, joka maksimoi arvontuoton ja jonka kaikki ymmärtävät ja tuntevat omakseen (Ballard ja Howell 2003a). Vaihe aikataulu tehdään imuajattelua hyväksi käyttäen lopusta alkuun yhdessä vaiheen tehtävät toteuttavien osapuolten kesken. Käännetyllä suunnittelulla katsotaan ensin yleisaikataulun välitavoitetta, sekä sille asetettuja vaatimuksia, jonka jälkeen mietitään mitkä tehtävät tulee tehdä ja missä järjestyksessä tavoitteen saavuttamiseksi. (Seppänen et al. 2010) Vaihe aikataulu voidaan luoda esimerkiksi sarjalla fasilitoituja palavereja, joissa osapuolet kirjaavat post-it-lapuille omat tehtävänsä ja niiden sisällön ja lisäävät ne seinällä olevalle paikka-aika-kaavioille. Tämän kaltainen vaihe aikataulu usein alalla nimellä käännetty vaihe aikataulu (KVA). Tällä tavalla tehty vaihe aikataulu saatetaan alalla virheellisesti kutsua Last Planneriksi, vaikka tilaisuus ja sillä luotu aikataulu ovat vain osa LPS-menetelmää. Kuva 15 on otettu tyypillisestä KVA-tilaisuudesta.



Kuva 15 Tyypillinen KVA-tilaisuus. (Merikallio 2015)

KVA-tilaisuuksia on pidetty menetelmän kehittämisen jälkeen lukuisia määriä eri projekteissa, yrityksissä ja maissa. Jokaisella menetelmää käyttävällä on omat kokemuksensa tilaisuuden pitämisestä, ja tilaisuuksien kulku vaihtelee tapauksittain. Tsao ja Hammons (2014) esittävät, että KVA-suunnittelulla voidaan saada suuria hyötyjä vaikka se tehtäisiin kesken projektin tai vaikealtakin tuntuviin vaiheisiin. He tutkivat monimutkaisenkin rakennelman, jossa ei näyttänyt olevan mahdollisuutta hyvälle työn virtaukselle, aikataulutusta KVA-suunnittelulla. Heidän mukaansa vaihe aikataulun luominen oli vaativaa ja tarvitsi useita sessioita, eivätkä osapuolet aluksi uskaltaneet luvata lyhyempiä kestoja tai edes tienneet tarpeeksi omasta tehtävästään luvataksaan mitään. Kuitenkin mikä aluksi vaikutti vaikeimmalta osuudelta rakennusta onnistui yhdessä suunnittelun avulla jopa paremmin kuin useammat muut osuudet. Yksinkertaistamalla hankalaa työvaihetta ja miettimällä ongelmia yhdessä päästiin hyvään tulokseen.

Ballard ja Howell (2003a) esittävät vaihe aikataulusprosessiksi seuraavaa:

1. Määritä vaiheeseen kuuluvat työt. (Esimerkiksi perustukset, julkisivu, sisävaihe)
2. Määritä vaiheelle valmistumispäivämäärä ja muiden edeltävien tai jälkeen tulevien vaiheiden valmistumisen vertautuminen tähän vaiheeseen.
3. Luo fasilitoidussa tiimipalaverissa järjestys vaiheeseen kuuluville tehtäville aloittaen lopusta. Ota huomioon muiden vaiheiden valmistumiset.
4. Määritä kesto jokaiselle työvaiheelle ilman puskureita tai epävarmuuksia laskettuna.
5. Tarkastele tehtävien välistä järjestystä uudelleen yrittäen lyhentää vaiheen kokonaiskesto.
6. Määritä aikaisin mahdollinen aloituspäivämäärä vaiheelle.
7. Jos vaihe näyttää valmistuvan ennen tavoitepäivämäärää, päättää mitä tehtäviä puskuroidaan yli jääneellä ajalla. Huomioi seuraavat:

- 7.1. Minkä tehtävän kesto on kaikkein herkin muutoksille?
- 7.2. Järjestä herkät tehtävät epävarmuuden mukaan.
- 7.3. Puskuroi yli jäänyttä aikaa herkimmille tehtäville epävarmuuden mukaan.
8. Huomio: kohdan seitsemän puskuri on sellaista, jonka aiot käyttää, eli se ei ole esimerkiksi budjetin kaltainen riski.
9. Onko tiimi tyytyväinen puskureihin ja suunnitelman varmuuteen valmistua ajoissa? Jos ei, joko suunnittele uudestaan tai siirrä välitavoitteita, jos se on mahdollista.
10. Jos aikaa jää yli tarvittavan puskuroinnin jälkeen, päätä kokonaisaikataulun kirimisen ja lisäpuskuroinnin väliltä.
11. Varaa yli jäänyttä aikaa koko vaiheen loppuun epävarmuutta poistavaksi puskuriksi.

Ballardin ja Howellin (2003a) mukaan LPS-menetelmässä tehtävien välisestä luovutuksesta tulee tuotannonohjauksen pääkohtia. Eri tehtävien tai urakoitsijoiden väliset luovutukset ja urakkarajat tulee määrittää erityisen tarkasti, tai 'Last Plannerilla' ei ole selvää tavoitetta omalla osallaan. He esittävät vaiheaikataulun toteutuksen liittyvän olennaisest myös koko muuhunn projektiketjuun, kuten suunnitteluun ja hankintaan.

Valmisteleva suunnitelma

Valmisteleva suunnitelma on rullaava suunnitelma töiden tarkemmasta toteutuksesta. Suunnitelma pohjautuu vahvasti vaiheaikataulussa sovittuihin työjärjestyksiin ja nopeuksiin, mutta siirtää ne käytännön toteutukseen. Ballardin ja Howellin (2003b) mukaan valmistelevan suunnitelman tehtävä on:

- Muodostaa työn virtauksen järjestys ja nopeus
- Sovittaa työn virtaus ja kapasiteetti
- Valmistella ja pitää yllä listaa tehtävissä olevasta työstä
- Tehdä tarkennetut suunnitelmat työn suorittamisesta

Käytännössä tämä tarkoittaa (yleensä vastaavan työnjohtajan vastuulla olevaa) 2-6 viikon suunnitelmaa tulevista töistä, jossa tehtävät suunnitellaan tarkemmin työryhmille, ja työn edellytykset ja esteet tunnistetaan (Ballard ja Howell 2003b). Tässä vaiheessa aktiivisesti varmistetaan suunnitelmien, materiaalien, työkalujen ja muiden edellytysten olemassaolo tehtävien toteuttamiseksi. Tämän pohjalta jaetaan tehtävät työnjohtajille tai työryhmille tarkempaan viikkosuunnitteluun.

Viikkosuunnittelu

Viikkosuunnittelu on tuotannon toteutuksen perusta. Viikkosuunnitelman tekevät tehtävistä vastaavat työnjohtajat, perinteisesti joko aliurakoitsijalta tai pääurakoitsijalta riippuen ke-
nen vastuulla työnjohto on. Viikkosuunnitelmaan otetaan vain tehtäviä, joiden edellytykset ovat olemassa (Ballard 2000). LPS-menetelmässä viikkosuunnitelman laatu on olennaista, eli tehtävien täytyy olla hyvin määritelty, tarkoituksenmukaisia ja oikein arvioituja. Teh-
tävät toteuttavien tai johtavien vastuuhenkilöiden täytyy katsoa pystyvänsä lupaamaan tehtävän toteutuvan viikkosuunnitelman mukaisesti (Ballard 2000).

Toteuman seuranta ja viisi-miksi-analyysi

Seurannassa tarkastetaan joka viikko edellisen viikon suunnitelma, ja sen pohjalta laske-
taan toteutuneet tehtävät. Toteutumista mitataan tehtävien toteutumisprosentilla (Percent Plan Complete, PPC), joka toimii indikaattorina suunnitelmien luotettavuudelle. PPC las-
ketaan jakamalla suunnitellut tehtävät toteutuneilla tehtävillä. Toteutumattomille tehtäville tehdään säännöllisesti juurisyyanalyysi viisi-miksi-menetelmällä, jotta löydetään perim-
mäinen syy tehtävän epäonnistumiselle (Ballard ja Howell 2003b). Useimmiten syy ei ole työryhmässä, vaan jokin ulkoinen tekijä on haitannut tehtävän suorittamista. Selvittämällä syy pyritään välttämään vastaavanlaiset ongelmat tulevaisuudessa.

Yhteenvedo menetelmän vastaamisesta virtauksen parantamiseen

LPS:n on tarkoitus tuoda toteuttavat osapuolet suunnittelemaan yhdessä tuotantoa, ja näin suojata itse tehtävien toteutusta, auttaa oppimaan virheistä ja parantaa lupausten luotettavuutta sekä vähentää vaihtelua. McConaughy ja Shirkey (2013) esittävät aikataulun olevan suurin epävarmuutta aiheuttava tekijä usean eri toimijan koordinoinnin vaikeuden takia, mutta LPS:n mahdollistavan häiriöiden ja muuttujien minimoinnin kunhan se on täydellisesti implementoitu. Heidän mukaansa kun LPS otetaan kokonaisuutena käyttöön, se saa aikaan tehokkaan, yhteiseen tavoitteeseen pyrkivän tiimin ja luotettavan aikataulun.

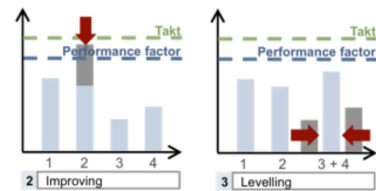
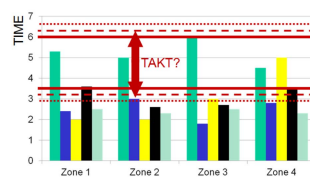
2.3.3 Tahtituotanto

Kuten esitetty, LBMS ja LPS ovat osoittaneet toimivuutensa rakennustuotannon virtauksen parantamisessa. Lean-rakentamisyhteisön kiinnostuksen kohteeksi on lisäksi tullut tahtia-
jattelun mukaiset menetelmät: Takt Time Planning (TTP) ja Takt Planning and Control (TPTC). TTP on Kaliforniassa Frandsonin ja Tommeleinin (2016) ja TPTC Saksassa Dlou-
hyn ja Binningerin (2016) töiden tuloksena kehitetyt menetelmät. Näissä menetelmissä on hiukan eroja, mutta ne perustuvat samaan ajatukseen tahtiajasta. Kohdeyrityksen tahtituo-
tantokokeilu on tehty Kujansuun (2018) diplomityössään tekemien ehdotusten mukaisesti, ja se perustuu Kaliforniassa tutkittuun ja kehitettyyn TTP-menetelmään.

Tahtiaika on menetelmän muista tuotannonohjaustavoista erottava ominaisuus. Tahti tar-
koittaa rytmiä, sykettä tai tempoa ja tulee saksan kielen sanasta 'takt'. Hoppin ja Spear-
man (2008) esittävät tahtiajan olevan aika, jossa tuote valmistetaan (tarjontanopeus), jotta vastataan tuotteen kysyntänopeuteen. Rakennustuotannossa tahti tarkoittaa käytännössä tehtävien ja työn jakamista siten, että ne etenevät ja valmistuvat samassa rytmissä, saman aikamäärän sisällä (Frandson et al. 2013). Tahtisuunnittelun tavoitteena on löytää toistu-
vat prosessit ja aliprosessit, jonka jälkeen tuotantoa optimoidaan prosessin näkökulmasta, ei tuotteen näkökulmasta (Tommelein 2017). Hyödyt syntyvät menetelmällisestä suun-

nittelusta ja ohjauksesta, jolla vähennetään vaihtelua ja saadaan aikaan tasainen virtaus. Tahtituotanto pyrkii luomaan tasaisen virran ennustettavissa olevaa työtä, joka sijoittuu tietyllä tarkasti määritellylle alueelle ja jolle on määritetty sopivan kokoiset työryhmät (Emdanat et al. 2016). Frandson et al. (2013) mainitsevat, ettei kyseessä ole uusi konsepti, vaan tasainen tuotanto on ollut jo aiempien menetelmien, kuten vinoviiva-aikataulutuksen ajatus.

Ero aikaisempiin menetelmiin tulee tahtiajan kautta tehtävien jakamisesta sen mukaisiin paketteihin. Rakennus jaetaan tahtialueisiin, jonka sisällä tietty tehtävä tulee toteuttaa tahtiajassa. Eri alojen tehtävät ovat rakennusallalla luonnollisesti eri mittaisia ajallisesti, mutta tahtisuunnittelun tavoitteena on jakaa alueet ja sen sisällä olevat tehtävät siten, että jokainen tehtävä toteutuu tahtiajassa. (Frandson et al. 2013) Tahtiaika voidaan määrittää esimerkiksi hitaimman työvaiheen mukaan miettien voisiko sitä vielä nopeuttaa tai jakaa pienempiin osiin. Toinen vaihtoehto on mitoittaa se projektin tai asiakkaan tarpeiden mukaisesti. (Frandson et al. 2013) Kuvassa 16 esitetään esimerkki aluejaosta kerroksessa, kuvassa 17 eri kestoisten tehtävien aiheuttama tahtiajan määrittämisongelma ja kuvassa 18 esimerkki toimista tahtiajan sisällä olevien tehtävien tasaamiseksi mahdollisimman lähelle tahtiaikaa.



Kuva 16 Esimerkki tahtialueista. (Kujansuu 2018) **Kuva 17** Ongelma tahtiajan määrittämisessä. (Frandson et al. 2013) **Kuva 18** Esimerkki tehtävien tasauksesta. (Hagsheno et al. 2016)

Tahtimenetelmän perusajatus on, että kun tahtiaika saadaan määritettyä, se pysyy samana läpi projektin. Tuotannon tehtävänä on tämän jälkeen saada määritelty tehtävä täysin valmiiksi tahtiajan sisällä, vaikka ylitöinä. Tehtävät kuitenkin puskuroidaan kapasiteettipuskurilla siten, että työryhmän täytyy tehdä tehtävä esimerkiksi 80% tuotantonopeudella suunniteltuun tahtiaikaan pääsemiseksi. Tavoitteena on saada aikaan varma alueen luovutus seuraavalle työryhmälle tahtiajan lopussa. (Frandson et al. 2015)

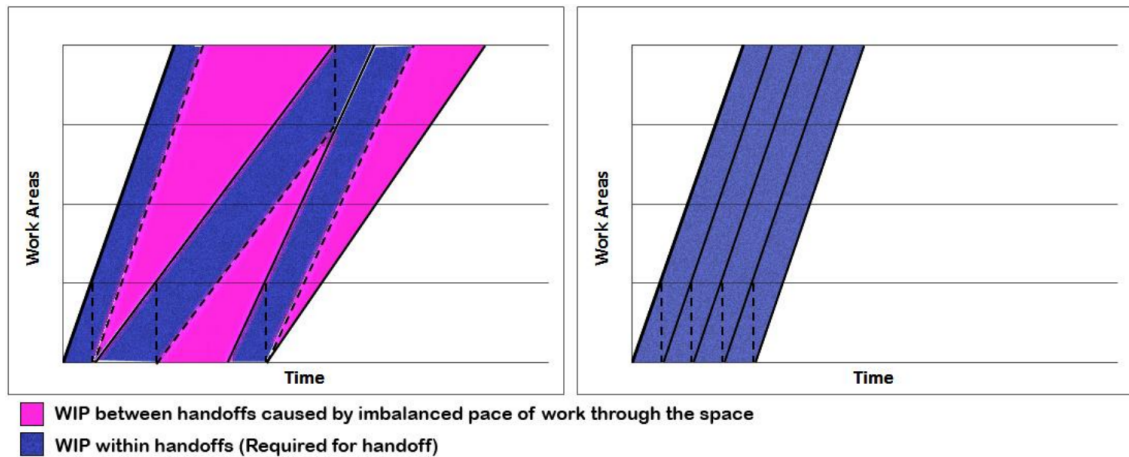
Tahtisuunnitelman tekemiseksi on erilaisia toimintatapoja TTP:ssä ja TPTC:ssä (mm. Tommelein 2017; Binninger et al. 2017a). Kujansuu (2018) esittää Kalifornian mallin pohjalta viisiportaisen prosessin aikataulun luomiseksi. Tämä malli on käytössä tapaustutkimuksen kohteessa:

1. **Tiedon kerääminen** - Kerätään yhteen sidosryhmiltä kohteen tiedot, jotka toimivat pohjana seuraaville vaiheille.

2. **Alueiden ja työvaiheiden määrittäminen** - Laaditaan tietojen pohjalta yhdessä vaiheeseen liittyvien toimijoiden kanssa aluekokonaisuudet. Aluekokonaisuudet voidaan jakaa funktionaalisesti tai muuten eroaviin alueisiin (huoneet, käytävät, ..). Tämän jälkeen määritetään tahtialueiden sisällä olevat työvaiheet, näiden laajuudet ja läpimenoajat.
3. **Alueiden ja työvaiheiden vaihtojen karkea järjestäminen** - Määritetään tietojen pohjalta toimijoiden kanssa kokonaisuuden kannalta paras tekojärjestys, jossa tavoitteena on tahtialueiden sujuva valmistuminen ja työn virtaus.
4. **Yhteisen suunnitelman hyväksyminen** - Edellisistä vaiheista saatujen tietojen pohjalta kootaan lopullinen kokonaisuutta kuvaava tahtiaikataulu. Tämä voidaan luoda esimerkiksi käännetyksi KVA-palaverin avulla.
5. **Suunnitelman hienosäätö** - Hyväksymisen jälkeen saattaa nousta esiin esimerkiksi muutostöitä, hankinnan myöhästymisiä tai muita tekijöitä, jotka vaikuttavat aikatauluun. Näiden sattuessa prosessi pidetään iteroituvana, ja aikataulua palataan tarkistamaan ja muuttamaan.

Kuten prosessista voidaan huomata, se muistuttaa paljon LPS-menetelmän vaiheajakauputusta. TTP-menetelmässä pyritään myös yhteistoiminnallisuuteen ja otetaan vaiheen suorittavat toimijat mukaan, koska heillä on paras tieto työn sisällöstä ja kestosta (Kujansuu 2018). Frandson et al. (2014) esittävät TTP:n olevan koko tiimin osaamista ja tietoa hyväksikäyttävä menetelmä työnositteluun ja järjestämiseen.

Tahtimenetelmän tärkeimpiä tavoitteita on läpimenoajan lyhentäminen tarpeettomia puskureita löytämällä ja poistamalla. Faloughi et al. (2015) esittävät rakennustuotannossa olevan huomattava määrä keskeneräistä työtä (Work in progress, WIP). Keskeneräiset tilat, joissa kukaan ei työskentele, ovat periaatteessa kaikki puskureita. Tahtimenetelmän ajatus on sovittaa työntekijälle varattu tila tehtävään sopivaksi, jotta keskeneräisen työmaan tiloja voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin. Toisaalta tilan varaaminen työryhmälle tarkoittaa myös sitä, ettei siellä ole muita työnteon tiellä. Kuvassa 19 esitetään tuotantonopeuden tasaamisella parannettu tilojen käyttö.



Kuva 19 Tuotantonopeuden tasaamisella saavutettu tilojen parempi käyttö. Vaaleanpunaisella merkittynä aikana tila on turhaan tyhjillään. (Faloughi et al. 2015)

Tahtisuunnittelun lisäksi tahtiajatteluun kuuluu työnohjaus. Lyhyiden tahtiaikojen seurauksena syntyy myös lyhyet välit tehtävien välisille luovutuksille. Ongelmien pitäisi näkyä heti, koska tehtävät on jaettu selkeisiin kokonaisuuksiin tietyllä alueella ja niiden valmistumiselle on tarkka tavoiteaika. Lyhytsyklinen (päivittäinen) tuotannon seuranta ja välittömien korjausten tekeminen on olennaista tahtituotannossa (Binninger et al. 2017a; Faloughi et al. 2015). Tahtituotannossa ovat mahdollisia ohjaustoimenpiteet, kuten tahtijunan pysäyttäminen, junan siirtäminen tai tehtävien siirtäminen vaunusta toiseen (Binninger et al. 2017b).

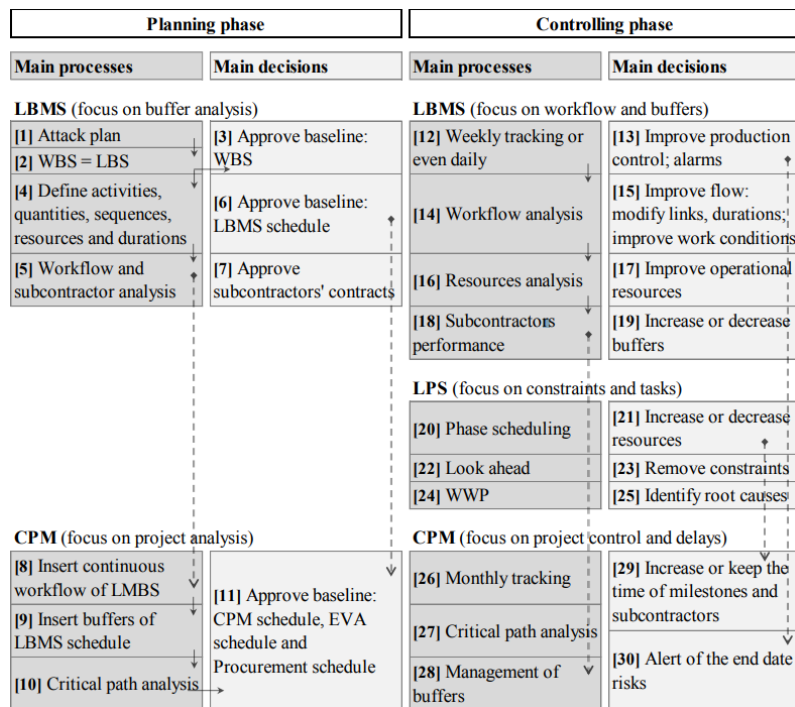
2.3.4 Yhteenveto menetelmistä ja niiden vertailu

Tässä kappaleessa esiteltiin tutkimuksen tapauskohteessa käytössä olevat tuotannonohjausmenetelmät. Menetelmät perustuvat lean-rakentamiseen, mutta eroavat lähestymistavaltaan hieman toisistaan. Kaikissa menetelmissä on tavoitteena parantaa TFV-mallin mukaista virtausta (poistaa keskeytykset, siirtymiset ja odotus sekä luoda imua ja jatkuvaa parantamista) sekä vähentää vaihtelua. Bølviken et al. (2015) esittävät taulukon 4 määritelmän hyvälle suunnitelmalle, ja mihin osiin esiteltyt menetelmät vastaavat.

Taulukko 4 Määritelmä hyvälle suunnitelmalle ja esiteltyjen menetelmien vastaaminen siihen. (Bølviken et al. 2015)

	CPM	LBMS	Tahti	LPS
Tehtävät				
1. Kaikki tärkeät tehtävät ovat suunnitelmassa				
2. Vain itsenäisiä tehtäviä (ideaalitulanteessa)		x	x	x
3. Vain toteutettavissa olevia tehtäviä (lyhyen tähtäimen suunn.)				x
4. Tehtävän suorittamiseksi vaadittavat asiat on tunnistettu (pitkän tähtäimen suunn.)				x
5. Pullonkaulat tunnistettu		x	x	
6. Resurssit saatavilla				x
7. Sopiva määrä tehtäviä ja resursseja varalla (varamesta ja resurssipuskuri)				x
Ajankäyttö				
1. Oikea tehtävien välinen järjestys ja logiikka	x	x	x	x
2. Työryhmillä on jatkuvat tehtävät (ideaalitulanteessa)		x		x
3. Sopiva tehtävän pituus ja aikapuskuri	x	x		
4. Tehtävän pituus sopii saatavilla oleviin resursseihin, tavoitteisiin, tilaan, ym. määreisiin	x	x	x	x
Tilankäyttö				
1. Hyvä aluejako		x	x	
2. Sopiva rakentamisen fyysinen järjestys ja suunta rakennuksessa		x	x	
3. Yksi työryhmä kerrallaan kullakin alueella (ideaalitulanteessa)		x	x	
4. Tilankäyttö sopii saatavilla oleviin resursseihin, tavoitteisiin, tilaan, ym. määreisiin				
5. Sopiva määrä tilapuskureita		x		
Sopii tarkoitukseen				
1. Sopiva tarkkuustaso				x
2. Hyvä visuaalinen esitystapa		x		
3. Hyvä intuitiivinen laatu				
4. On sopimusten tarpeiden mukainen	x			

Menetelmien vertailusta nähdään hyvin teknisten menetelmien, kuten LBMS ja tahti keskittyvän aikataulutusuunnittelun laskennalliseen ja optimoivaan puoleen, kun taas LPS sosiaalisena menetelmänä vastaa itse toteutuksen suunnitteluun ja ohjaukseen. LBMS:n, LPS:n ja CPM:n yhdistämisestä yhdeksi suunnittelun ja ohjauksen järjestelmäksi on esitetty kuvan 20 mukainen malli. Kyseisessä mallissa LBMS:ää käytetään tuotannonsuunnittelussa tekniseen analyysiin, virtauksen ja resurssien optimointiin, sekä tuotannonohjauksessa tuotannon seurantaan ja ongelmien ennustamiseen. LPS taas toimii tuotannon esteiden poiston ja oppimisen pohjana. Tähän malliin voidaan verrata tapaustutkimuksen yrityksessä ja kohteessa käytössä olevaa mallia.



Kuva 20 LBMS:n, LPS:n ja CPM:n yhdistäminen. (Olivieri et al. 2016)

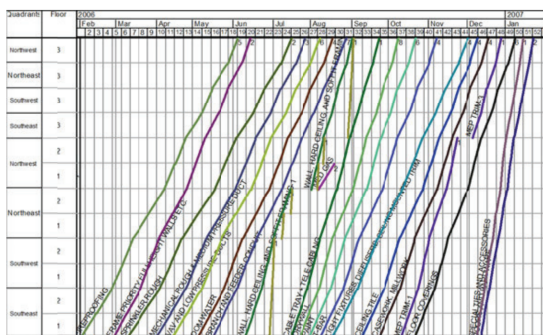
Tahtimenetelmällä ja LBMS-menetelmällä on enemmän yhteistä, kuin eroavaisuuksia (Frandsen et al. 2015). LBMS-menetelmällä tehdyn aikataulun tavoitteena esitettiin olevan tilanne, jossa työ ei odota tekijää, eikä tekijä työtä. Sama tavoite on ideaalitilanteessa tahtituotannolla. Faloughi et al. (2015) esittävät tämän tasapainottamisen olevan kuitenkin melko vaikeaa käytännössä, eli jompikumpi täytyy valita.

Ero menetelmien välillä tulee puskurointitavasta, tuotannonohjauksen tavasta ja resurssien jakoperiaatteesta (Frandsen et al. 2015). LBMS käyttää aika-, tila- ja varamestapuskureita, kun taas tahti käyttää kapasiteetti, tila ja varamestapuskureita. Tuotannonohjauksessa LBMS:ssä lähestymistapa on enemmän teknisen järjestelmän varassa, josta saatuja varoituksia pyritään ratkaisemaan yhteistoiminnallisesti. Tahtiohjauksessa kaikki lähtee visuaalisesta tehtäväjaosta, jossa pyritään selkeyttämään kaikille tehtävien sisältö, pituus ja sijainti ja jakamaan vastuu tekijöille. Resurssien suhteen LBMS suunnittelee tehtävät täydelle kuormalle, kun taas tahdissa tehtävä alimitoitetaan. Tavoitteena LBMS:ssä on saada optimaalinen tuotantonopeus työryhmälle, ja tahdissa taas pitää yllä tahtiaikaa kaikin keinoin. (Frandsen et al. 2015)

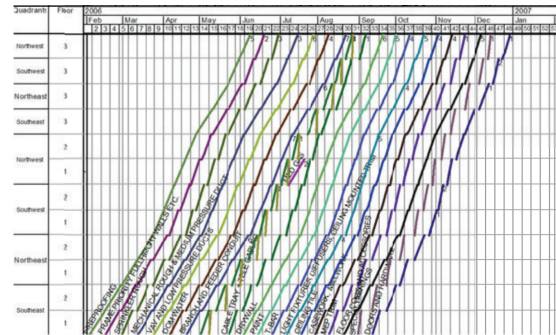
Kärjistäen voi ajatella, että jos LBMS:n tarkoitus on saada jatkuvaa työtä työntekijälle, tahtiaikataulun tarkoitus on hyödyntää tiloja mahdollisimman hyvin, eli että työ ei odota tekijää. Faloughi et al. (2015) esittävät jälkimmäisen johtaneen kuitenkin parempiin lopputuloksiin tutkimissaan projekteissa. Heidän mukaansa työntekijät voivat käyttää syntyvän odottamisajan varamestan tai muiden töiden edistämiseen, tai vielä tärkeämpänä miettiä miten omaa tekemistä saisi vielä parannettua, eli suunnitella etukäteen omaa tekemistä. He esittävät, että tasainen tahtiaika, jossa on pakotetut luovutukset seuraavalle

saattaa luoda myös työtä joka odottaa tekijää (WIP), mutta helpon, selkeän ja ennustettavan aikataulun hyötyjen olevan haittoja suurempia. Seppänen (2014) kritisoi tahtituotannon lähestymistapaa ja esittää siinä tarvittavan huomattavan määrän varamestoja, jotta pystytään varmistamaan työn jatkuva virtaus.

Seppänen (2014) vertailee artikkelissaan LBMS- ja tahtiaikatauluja kolmessa erilaisessa projektissa simulaatioiden pohjalta. Tutkimuksessa esitetään sopivan aikataulutussstrategian riippuvan paljon projektin tyypistä ja tehtävien toistuvuudesta. Jos projekti on toistuva, tahtiaikataululla saatetaan saada nopeampi läpimenoaika. Kuitenkin erona on se, että tahtiaikataulussa työntekijöille täytyy suunnitella paljon enemmän varamestaa tai hyväksyä resurssien joutenolo. Kuvassa 21 ja 22 havainnollistetaan eroa menetelmien tuottamissa aikatauluissa. LBMS-menetelmä tuottaa työpakettien virtauksen kannalta jatkuvamman ratkaisun, kun tahtiaikataulu tuottaa WIP:n ja tilojen käytön kannalta tehokkaamman ratkaisun.



Kuva 21 LBMS-aikataulu. (Seppänen 2014)



Kuva 22 Tahtiaikataulu. (Seppänen 2014)

Tapaustutkimuksessa tulee selvittää kohteen toimintatavat verrattuna näihin menetelmien periaatteisiin. Näin saadaan selville, toteutuvatko menetelmien hyödyt. Aikataulutusmenetelmiin liittyen tulee selvittää erityisesti käytetty suunnitteluprosessi, puskurointitapa ja tuotannonohjauksen tapa (eli miten reagoidaan poikkeamiin). Tahtituotannosta esitettyjen ominaisuuksien perusteella voidaan sanoa, että sen tulisi selkeyttää tehtävien sisältöjä, kestoja ja sijainteja tekijöille. Tahtituotannossa lyhyen syklin ohjaus on tärkeää, joten aikataulun toteutumisen päivitysväli on syytä selvittää. Lisäksi voidaan arvioida, miten varamestoja käytetään tapauskohteessa.

2.4 Tuotannon arviointi ja tuloksia saaduista hyödyistä

Tässä kappaleessa esitellään tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmien pohjana toimivat tavat arvioida tuotannonohjauksen onnistumista. Lisäksi esitellään aiempia tuloksia vastaavanlaisista tutkimuksista, jotka toimivat muun kirjallisuuskatsauksessa esitetyn tiedon lisäksi pohjana hypoteeseille.

2.4.1 Työmaan tuotannonohjaukseen käytäntöjen arvioiminen

Priven ja Sacks (2016) käyttivät tutkimuksessaan Social Subcontractin ja LPS:n vaikutuksesta työn virtaukseen Planning Best Practice (PBP) -indeksiä mittaamaan työmaan

työnsuunnittelun lean-käytäntöjä. PBP-mittarissa annetaan pisteitä käytäntöjen toteuttamistason mukaan, ja kokonaispistemäärästä voidaan päätellä projektin tuotannonohjauksen taso lean-rakentamisen käytäntöihin verrattuna. Kuvassa 23 esitetään mittarin sisältämät käytännöt, sekä kahdeksan esimerkkiprojektin saamat pisteet.

Practice	Project							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Formalization of the planning and control process	C	C	C	C	C	C	C	C
Standardization of short-term planning meetings	C	C	C	C	C	C	C	C
Use of visual devices to disseminate information in the construction site	C	C	C	C	C	C	C	C
Use of PPC and corrective actions based on the causes non-completions of plans	C	C	C	C	C	P	P	C
Critical analysis of data	C	C	P	C	P	C	C	P
Correct definition of work packages	C	P	P	P	P	C	C	P
Systematic update of the master plan, when necessary	C	N	C	N	C	C	C	C
Standardization of the medium-term planning	P	N	N	N	N	P	N	N
Inclusion of only work packages without constraints in short-term plans	P	N	N	N	N	P	N	N
Participation of crew representatives in decision making in short-term planning meetings	C	C	C	C	C	C	C	C
Planning and controlling physical flows	P	P	N	P	N	P	P	N
Use of indicators to assess schedule accomplishment	C	N	C	N	C	C	C	C
Systematic removal of constraints	P	P	P	P	P	P	N	P
Use of an easy to understand, transparent master plan (e.g., line of balance)	C	N	C	N	C	C	C	C
Scheduling a back-log of tasks	N	N	N	N	N	P	N	N
Total scores	12	7.5	9.5	7.5	9.5	12.5	10	9.5

Note: C = complete; N = none; P = partial.

Kuva 23 Työmaan käytäntöjen pisteyttäminen PBP-indeksillä. (Priven ja Sacks 2016)

Tämän indeksin avulla voidaan arvioida työmaan käytäntöjä verrattuna tutkimusten ja menetelmien mukaisiin parhaisiin käytäntöihin. Indeksi kertoo tuotannonohjauksen tasosta ja siinä eriteltyjen kohtien määrittäminen projektille näyttää puutteet verrattuna täydelliseen lean-menetelmien implementointiin.

2.4.2 Hukan määrä aiemmissä tutkimuksissa

Hukkaa on mitattu määrällisesti muutamissa tutkimuksissa seuraamalla työntekijän käyttämää aikaa. Seurannassa on saatu arvoja työntekijän käyttämän ajan jakautumiselle arvoa tuottavaan, arvoa tuottamattomaan mutta välttämättömään ja arvoa tuottamattomaan aikaan. (Kalsaas 2013; Kalsaas 2010; Forsberg ja Saukkoriipi 2007) Lisäksi on tehty tutkimusta kysymällä työntekijöiltä ja työnjohtajilta työssä olevasta hukasta, mutta nämä eivät ole luotettavia, koska työntekijät tai työnjohtajat tekevät mielestään lähes koko ajan jotain - arvoa tuottamatonta työtä ei pidetä hukkana. Työntekijät kertovat kyllä mielellään ja tarkasti syitä keskeytymisille ja häiriöille, mitä voidaan käyttää hukan lähteiden etsimisessä. (Kalsaas 2010)

Rakennusalan hukkaa käsiteltäessä viitataan usein yleiseen käsitykseen käytetyn ajan jakautumisesta noin 30% tuottavaa työtä, 30% siirtymistä tai siirtämistä ja 40% odotusta (esim. Särkilähti 2011). Kalsaas et al. (2010) esittävät aiempien tutkimusten tuottavan työn osuudesta päätyvän noin 20%-50% arvioon tuottavan työn määrästä koko työajasta. He esittävät työajan käytön tulosten olevan vaikeasti vertailtavissa, koska työolosuhteet vaihtelevat huomattavasti, tai mittaamistavat ovat erilaisia. He päätyvät omassa seitsemän projektin mittauksessaan kuvassa 24 esitettyyn jakaumaan käytetyssä työajassa.

	Secondary school 1; carpenter	Apartment/business/garage; carpenter, electrical	Rehabilitation/facade; bricklayer	Secondary school 2; concrete/iron	Apartment/garage; carpenter, plumber	Shopping center; concrete/iron	Aggregated result
Number of registrations	1678	2715	708	3525	1267	6750	
Direct work (%)	59.4	54.1	52.8	57.4	49.6	41.0	49.6
Observable waste (%)	4.6	5.5	6.9	7.4	8.3	15.0	9.9
Planning, coordination and HSE (%)	6.0	11.0	3.0	13.3	15.4	15.3	12.7
Indirect work, logistics (%)	8.3	11.9	6.2	9.7	11.2	11.6	10.6
Indirect work, other (%)	2.8	7.0	8.8	2.0	4.8	7.2	5.5
Necessary personal time (%)	18.9	10.5	22.3	10.3	10.7	10.0	11.7
Man hours (hours)	139.8	226.3	59.0	293.8	105.6	562.5	1386.9
Observable waste (hours)	6.4	12.4	4.1	21.7	8.8	84.4	137.3
Calculated workflow (%)	95.4	94.5	93.1	92.6	91.7	85.0	90.1

Kuva 24 Kalsaas et al. (2010) tutkimuksessa löydetty jakaumat työajan käytölle.

Tuottavan työn määrä oli siis 41-59% välillä. Kiinnostavaa Kalsaas et al. (2010) tutkimuksessa on myös työntekijöille tehdyn kyselyn perusteella saatu jakauma hukan aiheuttajille. Hukan aiheuttajien jakautuminen on esitetty kuvassa 25. Neljä suurinta hukan aiheuttajaa olivat (1) työkalujen puuttuminen, (2) edeltävä työvaihe tekemättä tai mesta varattu, (3) tietoa ei ollut saatavilla tai se oli epäselvää ja (4) mesta ei ollut siisti työhön lähdeäessä. Näiden hukan aiheuttajien vähentäminen vähentäisi myös hukan määrää.

Self-evaluation	Apartment/ business/ garage	Apartment/ garage	Rehab- ilitation/ facade	Aggregated result
1) Equipment missing or non-appropriate.	29,6	10,1	96	28,10
2) Worksite was not available because of other work.	26,2	25,3	0	24,42
3) Information was missing or unclear.	12,5	1,7	0	8,80
4) Worksite had to be cleared before access could be gained.	3,8	21,9	0	8,50
5) Did you perform work today, which was not planned when you started work this morning?	0,9	20,2	0	6,12
6) Did spend time today correcting faults or misunderstandings of your own, or other's making?	0,1	20,2	0	5,59
7) Faulty materials, too little, or non-appropriate materials.	6,9	0,6	0	4,75
8) Preceding activity was not finished as promised.	6,8	0,0	0	4,56
9) Preceding activity was of poor quality, or not quite finished.	6,4	0,0	0	4,29
10) Drawings missing, or faults/deficiencies in drawings.	4,1	0,0	4	2,99
11) Other causes of delay during work.	2,8	0,0	0	1,88

Kuva 25 Kalsaas et al. (2010) tutkimuksessa löydetty syyt hukalle.

Tapaustutkimuskohteesta saatuja hukan aiheuttajia voidaan verrata näihin esitettyihin hukan aiheuttajiin. Jos tavallinen hukka vähenee, tuotannonohjauksen voidaan ajatella onnistuneen paremmin.

2.4.3 Virtauksen arviointi

Tässä työssä ei seurata yksittäisten työntekijöiden ajankäyttöä, joten työn virtauksen laatuun ja hukkaan täytyy päästä käsiksi muulla tavalla. Bolviken ja Kalsaas (2011) esittävät erilaisia strategioita työn virtauksen mittaamiseen. Mittareiden kehittämistä jatkavassa artikkelissa Kalsaas (2011) esittää, että työn virtauksen konseptoinnin pitää sisältää kaksi puolta: tasaisuus ja intensiteetti. Tasaisuudella tarkoitetaan tuotantonopeuden tasaisuutta aikaa kohden ja intensiteetillä tarkoitetaan tuotantonopeuden suuruutta ylipäätään. Hyvän virtauksen tulisi olla korkeaa tuotantonopeutta tuottava, mutta myös tasainen. Näitä kahta puolta pystytään mittaamaan Bolvikenin ja Kalsaasin (2011) lähestymistavoilla. Näistä lähestymistavoista kolme ensimmäistä ovat itsearviointiin perustuvia ja loput ulkopuolisen arvioijan mittaamia. Tähän työhön sopivat lähestymistavat on korostettu ja laajennettu niiden kuvauksilla:

1. **Tekijöiden näkemys häiriöiden laajuudesta ja syistä** - Tuotannon seitsemän esivaatimuksen täyttyminen: jos tuotanto häiriintyy, selvitetään mikä esivaatimuksista puuttui. Ei paljasta making do -ongelmaan perustuvaa hukkaa. Tämä ei myöskään paljasta virtauksen absoluuttista muotoa.
2. **Tekijöiden näkemys työn virtauksesta** - Kokemukset hyvästä työn virtauksesta: missä päästiin tekemään hyvin.
3. Tekijöiden näkemys jakautumisesta virtaavan työn, making do:n ja keskeytymisen välillä
4. **Percent Plan Complete (PPC)** - PPC:n mittaamisella voidaan verrata suunnitelmien toteutumista muihin tutkittuihin tapauksiin ja arvioida suunnittelun laatua.
5. **Käytetyn ajan vertaaminen suunniteltuun** - Työhön tarvittavat resurssit, materiaalit ja työkalut ovat etukäteen suunniteltuja, ja toteutumisen vertaamisella niihin voidaan arvioida virtauksen onnistumista. Lähestymistapa mittaa toteutumista vain olemassa olevaan arvioon, eikä siksi anna absoluuttista arvoa. Voidaan kuitenkin ajatella, että suunnittelu ja kontrolli ovat olennaisessa osassa virtausta, ja toteutumisen vertaaminen siihen kuvaa onnistumista.
6. Täydellinen ihmisten välinen työn luovutus
7. **Täydellinen luovutus eri aliurakoitsijoiden välillä** - Ihmisten välistä luovutusta helpompi tapa mitata työn virtausta. Työvaihe tulisi luovuttaa seuraavalle sovitussa ajassa ja sovitulla laadulla. Näitä rajapintoja tutkimalla saadaan kuva virtauksesta.
8. Tarkennettu suunniteltujen tehtävien tutkiminen ja henkilökohtaisen käytetyn ajan mittaaminen
9. Urakkatyöstä saatu tuntipalkka
10. **Tuottavuus** - Tuotannon intensiteetin mittaamista tuotantoyksikön ja ajan avulla. Tuotannon tulisi olla tasaista ja intensiivistä.

Lisäksi tuotannon onnistumisen arvioimiseksi voidaan kerätä tietoa tehtävien aloituksista ja kestoista sekä resurssimääristä. Frandson et al. (2015) suosittelevatkin tahtituotannosta kerättävän tätä tietoa, koska nykyisellään tahtikohteita on tutkittu suhteellisen vähän. Aloitusten ja kestojen vaihtelua voidaan verrata kuvassa 26 esitettyihin Seppäsen ja Kankaisen (2004) tutkimuksessa saatuihin arvoihin aloitusten, tuotantonopeuksien ja tehtävien valmistumisen vaihtelusta.

Project	Size	N	Start-up delay				Production rate deviation				Interruptions				Final delay			
			MIN	AVG	MAX	STD.	MIN	AVG	MAX	STD	MIN	AVG	MAX	STD	MIN	AVG	MAX	STD
Residential 1	4194	8	-11	3.75	10	6.96	0.65	1	1.58	0.32	0	0.86	3	1.25	-6	6.25	18	7.09
Residential 2	4742	8	-4	1.5	16	6.55	0.51	0.95	1.52	0.25	3	10.88	23	6.49	3	17	31	10.8
Residential 3	7687	11	-13	4.8	20	8.81	0.75	1.01	1.63	0.28	0	14.5	47	17	0	30	60	19.3
Residential 4	3000	11	-2	1.38	4	1.57	0.28	0.83	1.6	0.42	0	5.18	14	5.17	0	10.1	19	6.89
Business Park 1	24384	10	-29	-10.2	3	10.3	0.62	0.96	1.46	0.24	0	21.8	44	15.4	-6	11.7	20	8.9
School 1	7980	7	-20	-1.3	8	9.3	0.39	1.01	1.94	0.48	0	1.43	5	2.1	-6	10.7	32	12.6

Kuva 26 Kuudesta projektista saadut projektien kaikkien tehtävien keskiarvoisen vaihtelun arvot päivinä ja kertoimena tuotantonopeudessa. (Seppänen ja Kankainen 2004)

Nämä mittarit ja lähestymistavat toimivat tämän työn empiirisen tutkimuksen pohjana. Tutkimalla virtausta sekä vaihtelua ja vertaamalla sitä aiemmin esiteltyyn ideaaliin virtaukseen ja tietoon vaihtelusta saadaan kuva tuotannon onnistumisesta. Erilaisten menetelmien vaikutusta onnistumiseen voidaan tämän jälkeen arvioida ja vastata tutkimuskysymyksiin 1. ja 2. yhteistoiminnallisuuden vaikutuksesta hukkaan.

2.4.4 Yhteistoiminnallisuuden ja menetelmien vaikutus tuotantoon

Useat tutkimukset ovat löytäneet korkeamman PPC:n ja paremman tuottavuuden välillä selkeän korrelaation. Tuotannon luotettavuus ja vähäisempi vaihtelu luovat työskentelyympäristön, jossa on paremmat edellytykset tehdä tuottavaa työtä. Parantamalla työn virtausta ja vähentämällä vaihtelua voidaan saada huomattavia parannuksia tuottavuuteen. (Liu et al. 2011; Leal ja Alarcon 2010) LPS:n hyödyt toistuvat myös Castillo et al. (2017) tutkimuksessa, jossa he havaitsivat LPS:n korkean käyttöasteen ja projektin suorituskykyindikaattoreiden (kustannus, laatu, aikataulu, turvallisuus, ym.) hyvän tuloksen välillä yhteyden.

Yhteistoiminnallisten menetelmien, kuten LPS:n käytön on huomattu kasvattavan tiimihenkeä, yhteistyöhalua ja sitoutumista. Nämä ovat parantaneet aikataulussa pysymistä ja mahdollistaneet yhteistä ongelmanratkaisua. (Mota et al. 2019; Ryan et al. 2019; Ribeiro et al. 2017; Skinnarland ja Yndesdal 2010)

Tahtituotannosta ja siihen liittyvästä yhteistoiminnallisuudesta on myös hyviä tuloksia. Alhava et al. (2019) tutkimuksessa seurattiin tahtituotannon käyttöönottoa asuintaloprojektissa, ja huomattiin potentiaalia hukan vähentämiseksi. Tutkitussa kohteessa häntien sekä puutteiden korjaamiseen kului kuukausi kuuden kuukauden sisävalmistusvaiheesta. Puutteita sekä loppuunsaattamattomia tehtäviä aiheuttivat erityisesti ennakoitua pi-

demmät kuivumisajat sekä ongelmat esivalmistettujen rakennusosien toleranssien kanssa. Vähentämällä näiden virheiden korjaamisen tuottamaa hukkaa läpimenoaikaa olisi saatu lyhennettyä kuukaudella. Alhava et al. päättelivät ongelman aiheuttajaksi tehtävien välisen luovutuksen epäonnistumisen tahtiprosessia ajatellen: sen sijaan, että juna olisi keskeytynyt, ongelmat tai hännät jätettiin hoidettavaksi myöhemmin, ja tehtiin vain edellytykset seuraavan tehtävän alkamiselle. Tutkimuksessa huomattiin suuri potentiaali tuottavuuden parantamiselle making-do:sta ja tehtävien vähentymisestä aiheutuvaa hukkaa poistamalla. Kaikesta huolimatta tahtikokeilua pidettiin onnistuneena, sillä läpimenoaikaa saatiin lyhennettyä 30 prosentilla pitäen taloudelliset ja laadulliset vaatimukset samana. He huomasivat erityisesti tuotannonsuunnittelukäytännön tuottaman hyvän tilannekuvan mahdollistavan tehokkaan ja oikea-aikaisen päätöksenteon ongelmista huolimatta.

2.4.5 Hypoteesit yhteistoiminnallisuuden vaikutuksesta hukkaan

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta voidaan tehdä seuraavat hypoteesit empiiriseen osuuteen:

Hypoteesi 1: Aliurakoitsijoiden osallistaminen tuotannonsuunnitteluun auttaa varmistamaan työn edellytykset ennen sen aloitusta.

Tuotannon suojaaminen tekemällä työn edellytykset valmiiksi on LPS-menetelmän perusajatuksia vaihtelun ja hukan vähentämiseksi. Aliurakoitsijan osallistaminen menetelmän mukaisesti parantaa tarpeiden ja esivaatimusten viestintää sekä esiintuloa. Toisaalta osallistaminen luo sosiaalisia velvoitteita myös pääurakoitsijalle, mikä edesauttaa niiden täyttämisessä.

Hypoteesi 2: Yhteistoiminnallisesti suunniteltu, sitoutettu ja seurattu aikataulu on laadultaan parempi, kuin työnjohdon yksin suunnittelema.

Aikataulutehtävien välinen logiikka ja sisältö on olennaista niin LBMS-, kuin tahtiaikataulussa. Yhteistoiminnallisesti saadaan aliurakoitsijan tieto käyttöön, ja siitä tulee parempilaatuinen.

Hypoteesi 3: Tahtituotantomenetelmän mukaisesti suunniteltu aikataulu parantaa tilojen käyttöastetta ja vähentää tehotonta työtä, tarpeetonta liikkumista sekä odottamista selkeyttämällä tehtävien välisiä ajallisia ja laadullisia rajapintoja.

Tehtävien välisten rajapintojen selkeyttäminen osapuolille on olennainen osa tahtituotantoa. Tämä yhteisesti suunniteltu aikataulu, jossa on selvät luovutus- ja aloituspäivämäärät tehtäville saa tilan yksin suunnitellun aliurakoitsijan käyttöön ja se saa tehdä oman tehtävänsä tehokkaasti.

Hypoteesi 4: Tehtävien aloituksen ja pituuden vaihtelu on pienempää yhteistoiminnallisesti suunnitellulla, sitoutetulla ja ohjatulla aikataululla.

Tehtävien aloitusten ja pituuksien vaihtelun vähentäminen on olennaista tuotannonohjauksessa. Yhteisesti suunniteltu ja sitoutettu aikataulu saa aliurakoitsijat pysymään heille varatuissa ajoissa eli vähentää vaihtelua.

2.5 Yhteistoiminnallisten menetelmien käytön edellytykset ja mahdollistajat

Menetelmiä on kehitetty, tutkittu ja yritetty ottaa käyttöön useilla eri tahoilla näiden n. 30 vuoden aikana sitten lean-rakentamisen syntymisen. Hyvilläkään menetelmillä tai työkaluilla ei tee mitään, jos kukaan ei käytä niitä. Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksia yhteistoiminnallisten menetelmien ja leanin käyttöönotosta yrityksissä tapaustutkimukseen vertaamiseksi.

2.5.1 Kulttuurin muuttaminen

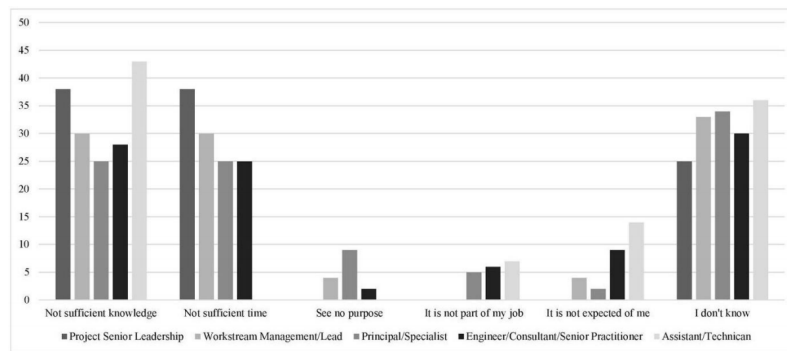
Lean-ajattelun levittämisen aiheuttaa Christensen et al. (2019) mukaan turhautumista sen parissa työskennelleissä ja sitä tutkineissa. Leania levittävät esittelevät menetelmien paremmuutta sekä hyviä tuloksia ja miettivät: “Miksi he eivät näe, että he ovat väärässä?” ja “Eivätkö he näe, että lean on paljon parempi käytäntö?” Turhautuminen syntyy, kun tiukkaan tutkimustietoonkaan perustuvien hyvien kokemusten esittelyllä ei ole vaikutusta leania käyttämättömiin. Lean-käytäntöjä levittävät saattavat luovuttaa, kun tuloksilla ei ole merkitystä menetelmien ottamisessa osaksi toimintaa. (Christensen et al. 2019) Korb ja Ballard (2018) esittävät lean-rakentamisen parissa työskentelevillä olevan erilainen paradigma, eli tapa nähdä alaa, ja että tapaa nähdä ala voi olla mahdotonta itse muuttaa. Heidän mukaansa hitaankaan oloisesta muutoksesta ei kannata kuitenkaan olla huolissaan, sillä muutosta tapahtuu.

Muutoksen täytyy olla mielekäs henkilökohtaisella tasolla: sen täytyy auttaa omaa suoritusta (Christensen et al. 2019; Richert ja McGuffey 2019). Johtajat ja päälliköt motivoituvat ajallisista ja rahallisista säästöistä, koska heidän suoritusta mitataan niiden avulla. Työnjohtajat ja insinöörit taas motivoituvat laadun sekä oman toiminnan parantamisesta ja turhan tekemisen välttämisestä. Ulkoiset mittarit kuten aika tai raha saattavat vääristää tai jopa estää luovuutta ja ongelmanratkaisua kompleksisen organisaation sisällä. Työnjohtaja saattaa esimerkiksi toimia rahan ja ajan suhteen asetettujen määreiden sisällä, ilman kiinnostusta tehdä projektista niiden suhteen parempi. (Christensen et al. 2019)

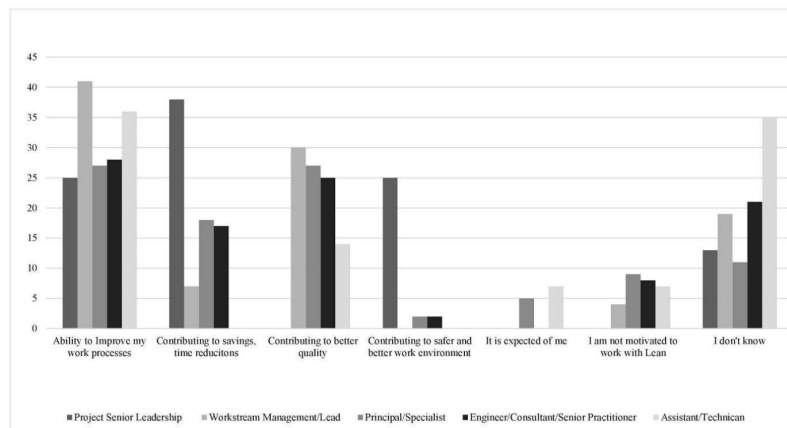
Sosiaalipsykologi Weick (1995) esittää argumentin, jonka mukaan muutos käytöksessä tai menetelmien implementointi on mahdotonta pakottaa ihmisille: organisaatioita ei pysty kontrolloimaan. Muutoksenajajat pystyvät ainoastaan tuomaan uusia tarinoita ja lähestymiskulmia leanista mielekkäänä ratkaisuna henkilökohtaisiin motivaation lähteisiin. Christensen et al. (2019) mukaan olemme edelleen juuttuneet kulttuuriin, jossa kontrolloimme käyttäytymistä ja rankaisemme epäsovivia toimintatavoista tai huonosta tuloksesta, emmekä kiinnitä huomiota asioihin, jotka oikeasti motivoivat ihmisiä. Richert ja McGuffey (2019) esittävät insinööri- ja tiedetaustaisten ihmisten unohtaneen olennaisen osan Toyota Production Systemistä lean-ajattelua tuodessaan: lean tuotiin työkaluna parantamaan prosesseja ja nostamaan tuottoja, ja siinä jätettiin kokonaan “ihmiset ja kumppanit” -osa huomioimatta.

Kuvassa 27 esitetään, kuinka Christensen et al. (2019) tutkimuksen mukaan menetelmien käyttöönotolle ei vaikuta olevan motivaatiollista estettä - tärkeimmiksi syiksi sille, miksi

leania ei käytetä ilmoitetaan tietämättömyys menetelmistä, ajan puute ja “en tiedä”. Kuvas-
sa 28 esitetään saman tutkimuksen tulokset lean-motivaatioihin liittyen organisaation eri
jäsenillä.



Kuva 27 Esteet leanin kanssa toimimiselle eri organisaation jäsenillä. (Christensen et al. 2019)



Kuva 28 Motivaation lähteet leanin kanssa toimimiseen eri organisaation jäsenillä. (Christensen et al. 2019)

Näiden löydösten perusteella voidaan esittää, että suurin osa työmaan henkilöstöstä voisivat luultavasti ottaa menetelmät ilman vastustusta käyttöön, kunhan he näkevät niiden auttavan heitä omassa työssään ja omien intressiensä saavuttamisessa. Pelkkien työkalujen tai tutkimushyötyjen kautta menetelmien vieminen on kuitenkin tämän kappaleen löydösten perusteella vaikeaa, eli menetelmät eivät itsestään tule kokonaisuutena käyttöön vaikka niitä tarjottaisiin tai mainostettaisiin.

2.5.2 Esteet Last Planner Systemin käytölle

Last Planner Systemiä Suomeen tuoneessa VTT:n hankkeessa todettiin, että vaikka menetelmä eroaa perinteisistä tuotannonohjauskäytännöistä, sen käyttöönoton ei katsottu olevan erityisen ongelmallista. (Koskela ja Koskenvesa 2003) Koskenvesan ja Koskelan (2012) arviointi hankkeen onnistumisesta kuitenkin osoittaa, että ongelmia on ollut. Heidän mukaansa neljä asiaa estää lean-harppauksen ottamista Suomessa:

- Yleisaikataulun uskomattoman suuri merkitys - Teemme tehtäviä, joilla ei ole edellytyksiä pelkästään aikataulussa pysymisen takia. Painotamme aikataulussa pysymistä tuottavuuden, virtauksen ja arvontuoton kustannuksella. Projekteissa saatetaan esimerkiksi sulkea alakatot ennen yläpuolisen tekniikan asennusta vain siksi, että päästäisiin välitavoitteeseen.
- Epäonnistuminen ongelmien paljastamisessa - Ihmiset eivät ole tottuneet puhumaan ongelmista ja virheistä. Useimmat ongelmat jäävät ilmoittamatta. Tämä voi johtua ajatuksesta pulaan joutumisesta niistä ilmoittaessa, tai ehkä ajateltuakin yleisemmästä syyttelyn kulttuurista. Toyotan mukaan 80% heidän kehityksestään lähtee hyvistä viisi-miksi-analyyseistä. Rakennusalalla ei olla totuttu, että ongelmat tulevat päivänvaloon, mutta olemme matkalla kohti sitä.
- Sopimukset, jotka estävät yhteistoiminnallisuuden - Luottamus on suhteiden perusta. "Bisnes on lupausten tekemistä ja niissä pysymistä." Esimerkiksi KVA-palaverissa sopimukselliset aikarajat tai ehdot saattavat tulla yhteisen suunnittelun tielle.
- Kehitystyön väärinymmärtäminen - Kehityksen tulisi olla jatkuvaa. Jos uusia käytäntöjä tuodaan ja ne epäonnistuvat, on helppo sanoa: "tämä ei toimi, mennään takaisin vanhaan malliin" sen sijaan, että sanottaisiin "tämä ei toiminut tällä tavalla, mitä meidän tulisi tehdä toisin, jotta se toimisi".

Maailmalta on saatu vastaavanlaisia tuloksia: Fernandez-Solis et al. (2012) esittivät kyselytutkimuksen pohjalta LPS:n käyttöönotossa olleen haasteita erityisesti (1) johtamisen puutteen, (2) organisaation muutoshitauden, (3) organisaation muutosvaikeuden, (4) koulutuksen puutteen, (5) sopimuksellisten haasteiden ja (6) osaamisen ja kokemuksen puutteen kanssa. Porwal et al. (2010) tunnistivat kirjallisuustutkimuksessaan kaikki esitetyt haasteet, minkä lisäksi tunnistettiin (7) sidosryhmien tuki ja (8) LPS:n osittainen tai myöhäinen implementointi.

Tapaustutkimuksen kokemuksia LPS:n käytöstä voidaan verrata näihin tunnistettuihin esteisiin. Esteet vaikuttavat menetelmän käyttöönottoon, ja niiden löytäminen auttaa vastaamaan 3. tutkimuskysymykseen.

2.5.3 Hyvät käytännöt Last Planner Systemin käyttöönotossa

LPS on menetelmänä laajalle levinnyt ja sen käyttöönotosta on paljon kokemuksia. Tuoreena mallina käyttöönotolle voidaan pitää Hackett et al. (2019) esitystä, joka perustuu seitsemän eri projektia tutkineeseen ja puolitoista vuotta kestäneeseen tutkimukseen. Löydösten perusteella tehtiin seuraavanlainen ohjeistus menetelmän käyttöönottoon:

1. Saavuta todellinen kiinnostus ja tuki ylemmältä johdolta ja asiakkaalta. Tuki voi ilmetä esimerkiksi sopimusmainintana LPS:n tai lean-työkalujen käytöstä. LPS:n kirjaaminen sopimukseen tunnistettiin onnistumisen edellytyksenä myös Daniel et al. (2016) tutkimuksessa.

2. Tunnista ja sitouta linjapäälliköt ja -johtajat LPS:n mukaiseen prosessiin. Sitoutuminen ja tuki näkyy osallistumisena KVA-tapaamisiin sekä viikoittaisiin aikataulusuunnittelupalavereihin. Osallistumisen ei tarvitse olla aktiivista, mutta tarvittaessa voi antaa ohjeistusta ja tukea esimerkiksi aliurakoitsijoiden osallistamiseksi ja motivoimiseksi.
3. Tunnista ja sitouta epäviralliset johtajat prosessiin. Nämä voivat tarkoittaa esimerkiksi tuotantoinsinöörejä, työnjohtajia tai projekti-insinöörejä. Nämä ovat olennaisessa osassa tiimin tehokkuutta, koska he vaikuttavat muihin tiimin jäseniin virallisten esimiesten ulkopuolella esimerkiksi luomalla tiimihenkeä ja vaikuttamalla mielipiteisiin. Nämä epäviralliset johtajat ovat tiimin valitsemia, tai he nousevat "luonnostaan" tiimin keskuudesta.
4. Tunnista ja sitouta muutoksen ajajat. He ovat organisaatiojohtajia tai muuten vaikuttavassa asemassa olevia henkilöitä, jotka ovat olleet mukana aiemmissa onnistuneissa lean- tai LPS-projekteissa. Myös Daniel et al. (2016)
5. Kehitä aikaisin strategia sekä tätä vastaava järkevä ja looginen polku prosessin käyttöönottoon. Strategian kehittämiseen kuuluu perusteltu ajatus siitä, miten polku prosessin käyttöönotosta kulkee sekä välietapit, joihin pyritään.
6. Käytä yleisaikataulussa asetettuja aikataulutavoitteita KVA-aikataulun perustana.
7. Noudata järjestelmällisyyttä prosessiin kuuluvien kokousten suhteen. Kokousten ajankohdat tulee olla kaikkien hyväksymiä, alkaa ajallaan ja noudattaa ennalta määritettyä kaavaa. Vältä kokousten kuormittamista uusien ja kokemattomien Last Plannerien suurella määrällä, vaan tarjoa tukea ja koulutusta etukäteen. Ainoastaan Last Planner voi sitoutua omiin aikataulutehtäviinsä. Koulutuksen ja tiedon jakamisen tärkeäksi löysivät myös Daniel et al. (2016)
8. Käytä tiedonvälityksessä kaikkien ymmärtämiä, neutraaleja esitystapoja. Erilaisista taustoista tulevilla on erilaiset kommunikointitavat, mikä tarkoittaa väärinymmärryksen mahdollisuutta kielimuurin, erilaisten termien tai erilaisen näkökulman takia. Esimerkiksi lakitaustalta tulevilla ja insinööreillä on erilaiset tulkinnat rakennusalan termistöstä. Neutraaleja esitystapoja voivat olla esimerkiksi post-it-aikataulu, piirroksot tai 3D-mallit.
9. Käytä LPS-tapaamisia toiminnan kehittämiseen ja palautteen keräämiseen jatkuvan parantamisen käytännön mukaisesti.
10. Käytä olemassa olevaa lean- tai LPS-osaamista prosessin käyttöönotossa muussa organisaatiossa. Työnjohtajat, vastaavat työnjohtajat ja tuotantoinsinöörit, joilla on kokemusta työkalujen käytöstä ovat olennaisessa osassa prosessin käyttöönottoa. Nämä henkilöt tulee tunnistaa ja sitouttaa prosessin käyttöönottoon.
11. Tee hyvien käytäntöjen levittämisestä ja prosessin jatkuvasta parantamisesta standardeoitu osa prosessia.

Työmaalla tapahtunutta yhteistoiminnallisuuden käyttöönottoa voidaan verrata näihin hyviin käytäntöihin. Työmaan kokemukset menetelmien käytöstä ovat olennaisia, jotta voidaan löytää niiden käyttöönottoon vaikuttavia tekijöitä. Kun hyvät käytännöt löydetään, niitä voidaan käyttää hyödyksi menetelmien levittämisessä laajemmin käyttöön.

2.5.4 Hypoteesit menetelmien käyttöönottoon vaikuttavista tekijöistä

Kolmanteen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi selvitetään tapaustutkimuksen kokemuksia menetelmien käytöstä. Tämän tutkimuksen kannalta tärkeimpiä ovat havainnot yhteistoiminnallisen tekemisen mielekkyydestä ja ilmapiirin vaikutuksesta menetelmien onnistumiseen.

Hypoteesi 5: Alun vaikeuksien jälkeen yhteistoiminnallisesta ohjauksesta koetaan saatavan hyötyä.

KVA-palavereiden esitettiin olevan aluksi hankalia, mutta niiden sitkeän toteuttamisen jälkeen niistä saatavan hyötyä. Kokemus hyödyn saamisesta on olennaisessa osassa työmaiden halukkuutta ottaa ne käyttöön.

Hypoteesi 6: Menetelmistä on koettava saatavan hyötyä, jotta niitä käytetään.

Motivaatiot menetelmien käyttöön liittyvät niistä koettuun hyötyyn. Tämä on tärkeä osa menetelmien käyttöönottoa, koska esitetysti organisaation pakottaminen toimintamalliin ei onnistu, vaan parempaan tekemiseen on ohjailtava kokemusten kautta.

3 Empiria I: Tuotannonohjausmenetelmien vaikutus virtaukseen ja hukkaan

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin yrityksessä käytössä olevat menetelmät ja niiden teoreettinen tausta, yhteistoiminnallisuuden määrittely sekä aiempia tutkimuksia yhteistoiminnallisten menetelmien vaikutuksesta tuotantoon. Empiriaosuuden ensimmäisessä osassa käsitellään kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi kerättyä tietoa. Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi kerättiin tietoa kahdesta eri näkökulmasta: 1. miten tuotanto sujui ja 2. miten työmaan tuotannonohjaus tapahtui. Luvussa esitellään aluksi tutkimuskohde sekä -menetelmät, jonka jälkeen esitellään kerätty aineisto ja sen analyysi.

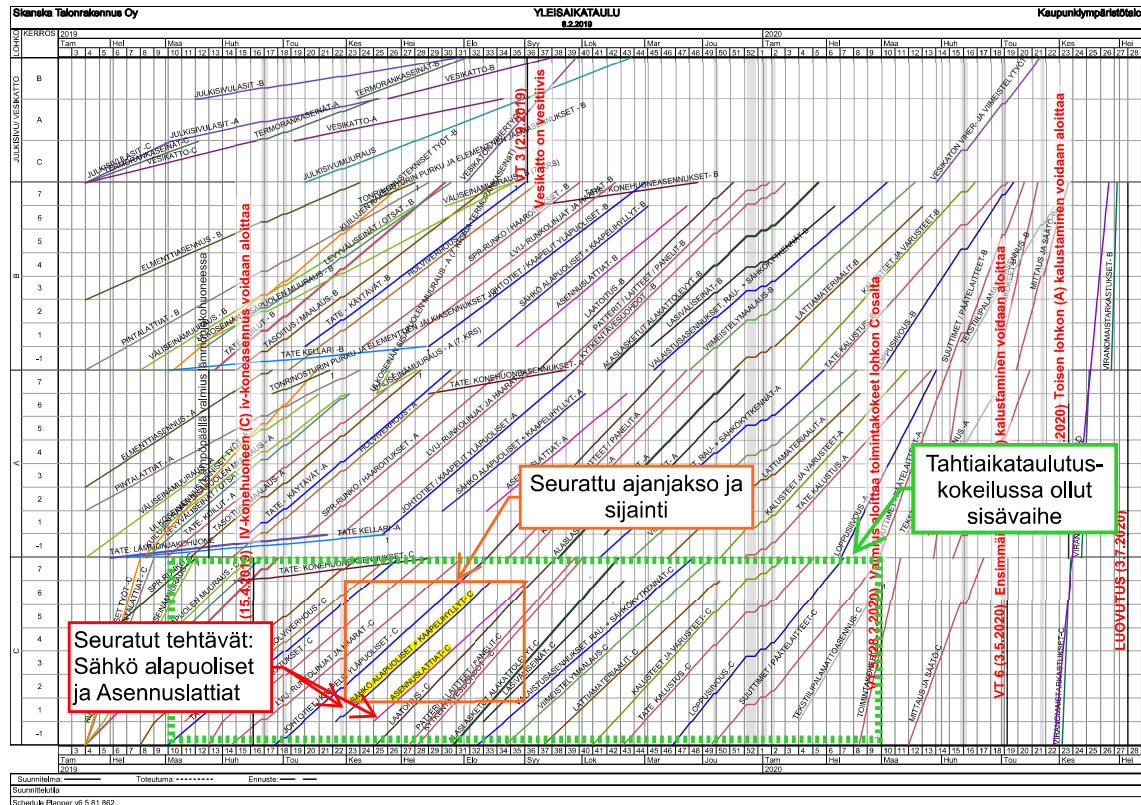
3.1 Tutkimuskohde

Tapaustutkimuksen kohteena oli Kaupunkiympäristötalo, joka on Helsingin Kalasatamaan rakennettava toimitilarakennus. Valmistuttuaan se kokoa Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan palvelut samaan rakennukseen. Rakennushanke toteutetaan projektinjohtourakkana, jossa Skanska Talonrakennus Oy toimii projektinjohtourakoitsijana (PJU). Urakkaan sisältyy talonrakennustyöt sekä talotekniikka. Rakennusaika on helmikuusta 2018 huhtikuuhun 2020. Rakennus on pinta-alaltaan yli 40 000 m², ja siinä on yksi maanalainen sekä seitsemän maanpäällistä kerrosta. Rakennukseen tulee tilat yhteensä noin 1500 työntekijälle, sekä pysäköintitilat 75 autolle.

Skanska toimii hankkeessa projektinjohtourakoitsijana, ja sen vastuulla on hankkeen työmaatoteutuksen lisäksi suunnittelunohjaus, hankinta sekä hanketta koskevan teknisen tiedon kokoaminen ja hallinta. Suunnittelu ja niihin liittyvä päätöksenteko on tilaajan vastuulla, mutta Skanska toimii tiiviissä yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa esimerkiksi Big Room -käytäntöä hyödyntäen. Tilaajan ja Skanskan välisissä projektin tavoitteissa nimetään erilaisia käytettäviä menetelmiä ja käytäntöjä: tietomallin hyödyntäminen aikataulutuksessa, KVA-palaverit, vaihteittain tarkentuva työnsuunnittelu (yleisaikataulu - vaiheikataulu - tehtäväsuunnittelu - viikkosuunnittelu - päivän työsuunnittelu) ja hankinnan sekä suunnittelun aikataulun nivouttaminen tuotannon aikatauluun. Lisäksi tavoitteissa on aliurakoitsijoiden osaamisen hyödyntäminen.

Hanke toteutettiin kolmessa lohossa aikataulutuksen ollessa tärkeässä roolissa projektin lyhyen rakennusajan vuoksi. Tässä osuudessa tutkittiin yhtä lohkoa, joka oli myös aikaisin kolmesta lohkoista. Tutkimuksen aikana lohossa oli käynnissä sisävaihe, eli runkotöistä seuraava vaihe, jonka aikana sisätilat tehdään käyttövalmiiksi. Tutkimuksessa seurattiin tapauskohteessa tuotannon sujumisen osalta kahta työvaihetta: asennuslattiatyöt ja niiden alapuoliset sähkötyöt. Työvaiheet valittiin hukkatutkimuksen näkökulmasta mahdollisimman sopiviksi: asennuslattiatyö on tahdistava työvaihe ja sen toteumaa on helppo seurata. Alapuoliset sähkötyöt taas liittyvät olennaisesti asennuslattiatöihin, joten tehtävien yhteensovitus määrää osaltaan seuraavan tehtävän onnistumista. Tehtäviä seurattiin kolmen kuukauden ajan kesäkuun alusta elokuun loppuun 2019, asennuslattiatöiden alusta niiden suunniteltuun päättymiseen seurattavassa lohossa. Tavoitteena oli saada pitkätaiddataa tehtävien onnistumisesta tahtiaikataulutetun lohkon läpi. Seuranta tehtiin tehtävittäin loh-

kon läpi, koska Saara Salerton (2019) tapauskohteeseen tekemä toinen diplomityötutkimus seurasi yhden tahtialueen sisällä tapahtuvaa tuotantoa. Tavoitteena oli näin saada tietoa täydentävää tietoa työn virtauksesta tuotteen virtauksen lisäksi samassa tahtipilottihankkeessa. Kuvassa 29 esitetään tutkimuksessa seuratut tehtävät, sijainnit ja ajanjakso yleisaikataulus-
sa.



Kuva 29 Seuratut tehtävät ja ajanjakso yleisaikataulus-
sa.

Tehtävien seurannan tavoitteena oli saada mahdollisimman tarkka kuva tehtävien kulusta ja siihen vaikuttaneista tekijöistä. Tehtävien seurannan yhteydessä kerättiin tietoa kyseisten työvaiheiden suunnittelun ja ohjauksen käytännöistä, ja näistä yhdistetyllä tiedolla luotiin kuva yhteistoiminnallisten menetelmien vaikutuksesta tuotannon hukkaan.

3.2 Tutkimusmenetelmä

3.2.1 Menetelmän valinta

Tehtävien kulun ja siihen vaikuttaneiden tekijöiden löytämiseksi käytettiin laadullisia ja määrällisiä menetelmiä. Tehtävien etenemistä seurattiin havainnoiden työmaakäynneillä sekä dokumenttianalyysillä työmaan aineistoista ja kulunvalvontatiedosta. Näistä koostettiin tietoa määrällistä analyysiä varten. Tehtävien etenemiseen vaikuttavia tekijöitä selvitettiin laadullisesti teemahaastatteluin, havainnoinnein sekä dokumenttianalyysillä. Määrällistä ja laadullista tutkimusta käytettiin täydentävästi, eli ne suunniteltiin kattamaan tutkimuksen eri alueita, mikä auttaa antamaan erilaisia näkökulmia tutkittavaan asiaan (Hirsjärvi ja Hurme 2000). Hirsjärven ja Hurmeen (2000) mukaan valinta määrällisen, laadullisen

tai molempia hyödyntävän tutkimusstrategian välillä riippuu tutkimusongelmasta. Tässä työssä pyritään mittaamaan hukkaa, jota voi luonnehtia määrälliseksi ilmiöksi sen määrittelyn jälkeen, ja toisaalta selittämään siihen vaikuttavia tekijöitä yhteistoiminnallisesta näkökulmasta, mitä voi luonnehtia laadulliseksi ilmiöksi. Virtauksen hukka on määritelty kirjallisuudessa aikaan perustuvana, mikä luo sille määrällisen luonteen.

Tutkimuksessa kerättiin tietoa useista eri lähteistä, eli trianguloimalla. Keräämällä tietoa eri lähteistä voidaan parantaa tutkimuksen validiutta (Hirsjärvi et al. 2007), ja kuten tutkimuksen luonteen kuvauksessa esitettiin, tapaustutkimuksessa triangulointi on tarpeellista kontekstin epäselvyydestä johtuen (Yin 2014).

Haastattelumenetelmäksi valittiin teemahaastattelu, eli puolistrukturoitu haastattelu. Teemahaastattelussa edetään keskeisten teemojen tai kysymysten varassa, mutta kysymykset eivät sido haastattelua. Tällä on tarkoituksena saada haastateltavan ääni ja mielipiteet teemasta kuuluviin, sekä löytää haastateltavalle merkityksellisiä tulkintoja ja näkökulmia asiaan. (Hirsjärvi ja Hurme 2000) Muita haastattelututkimustyyppejä ovat lomakehaastattelut ja strukturoimattomat haastattelut. Tähän tutkimukseen sopi parhaiten teemahaastattelu, sillä tavoitteena oli kerätä tuotannon parissa työskenteleville merkityksellisiä huomioita ja tulkintoja, kuitenkin tietyn teeman ympäriltä. Teemahaastattelussa tutkija pystyy ohjailemaan haastattelua keräämänsä tiedon pohjalta, mutta jättää kuitenkin tilaa haastateltavan omille tulkinnoille.

Yin (2014) esittää, että tapaustutkimuksessa on olennaista määrittää tutkimuskysymysten lisäksi hypoteesit, analysoitavat määreet, logiikka määreiden yhdistämisessä hypoteeseihin ja kriteerit näiden löydösten tulkitsemiselle. Kirjallisuuskatsauksessa esitettiin hypoteesit aiempien tutkimusten pohjalta. Kaikkea tapauskohteeseen liittyvää tietoa ei voi kerätä, joten hypoteesien testaamiseksi täytyy valita sopivat mittarit eli määreet. Analysoitavat määreet ja ne inspiroineet aiemmat tutkimukset:

Hypoteesi 1: Aliurakoitsijoiden osallistaminen tuotannonsuunnitteluun auttaa varmistamaan työn edellytykset ennen sen aloitusta. - **Tuottavuus, esteiden tai häiriöiden määrä ja syy sekä tilanteet, joissa edellytysten varmistamista tapahtuu.** (Bølviken ja Kalsaas 2011; Seppänen et al. 2010)

Logiikka: Rakennustuotannon seitsemän edellytyksen varmistaminen etukäteen vähentää työn keskeytymisiä ja näin nostaa tuotantonopeutta. Jos edellytykset puuttuvat tai poistuvat, syntyy häiriöitä, jotka aiheuttavat hukkaa. Nämä häiriöt tunnistamalla saadaan selville puutteet prosessissa, tai jos häiriöitä ei synny, nähdään prosessin tuomat hyödyt niiden poistamisessa.

Hypoteesi 2: Yhteistoiminnallisesti suunniteltu, sitoutettu ja seurattu aikataulu on laadultaan parempi, kuin työnjohdon yksin suunnittelema. - **PBP-indeksi, tuotantonopeus työvuoroa kohti, seurattavien tehtävien valmistuminen verrattuna aikatauluun sekä tilannekuvan laatu: toteuman seurantatiheys ja aikataulun käytettävyys tuotannonsuunnittelussa.** (Priven ja Sacks 2016; Bølviken ja Kalsaas 2011)

Logiikka: Tuotantotehtävien valmistumisen luotettavuus on mittari aikataulun ja tuotannonohjauksen laadulle. Vertaamalla toteutunutta tuotantonopeutta suunniteltuun nähdään aikataulusuunnittelun ja sitoutumisen onnistuminen. Seurattavien kahden työvaiheen toteutuminen verrattuna aikatauluun ja syyt mahdolliselle myöhästymiselle kertovat aikataulusuunnittelun onnistumisesta sekä aliurakoitsijan sitoutumisesta aikatauluun. Aikatauluseurannan päivitystiheys ja luotettavuus kertoo tilannekuvan laadusta.

Hypoteesi 3: Tahtituotantomenetelmän mukaisesti suunniteltu aikataulu parantaa tilojen käyttöastetta ja vähentää tehotonta työtä, tarpeetonta liikkumista sekä odottamista selkeyttämällä tehtävien välisiä ajallisia ja laadullisia rajapintoja. - **Seurattavien urakoitsijoiden varaama tila, edellisestä urakoitsijasta aiheutuneet viivästykset aikataulutehtävistä toiseen siirryttäessä sekä tuotannon jatkuvuus: tehtiinkö sovittu tehtävä kerralla loppuun.** (Frandsen et al. 2015; Bølviken ja Kalsaas 2011)

Logiikka: Urakoitsijalle varatun tilan eli eräkoon pieneneminen parantaa tuotteen virtausta ja vähentää tyhjistä tilasta syntyvää hukkaa: mittaamalla sitä saadaan tietoa tilojen käytöstä. Edellisistä urakoitsijoista aiheutuvat työn aloituksen edellytysten puuttuminen aiheuttavat vaihtelua ja ongelmia työmaalla. Tehtävän tekeminen jatkuvana loppuun on työn virtauksen kannalta paras ratkaisu.

Hypoteesi 4: Tehtävien aloituksen ja pituuden vaihtelu on pienempää yhteistoiminnallisesti suunnitellulla, sitoutetulla ja ohjatulla aikataululla. - **Tehtävien aloitukset ja kestot, tuottavuus, resurssimäärät.** (Frandsen et al. 2015; Bølviken ja Kalsaas 2011; Seppänen et al. 2010; Seppänen 2009)

Logiikka: Tehtävien aloitusten ja keston vaihtelu kertoo virtauksen laadusta ja tuotannonohjauksen onnistumisesta.

3.2.2 Aineiston keruu

Työmaahavainnointi tehtiin pääosin viikoittain maanantaiaamuna noin klo 9-11 välisenä aikana kävelemällä seurattavan alueen läpi ja dokumentoiden havainnot. Valittuna ajankohdaksi saatiin tieto edellisen viikon loppuun mennessä tapahtuneesta etenemisestä, ja nähtiin, missä urakoitsijan työntekijät aloittavat työnsä kyseisellä viikolla. Dokumentointi tapahtui kirjaamalla muistiinpanoja ja ottamalla kuvia seurattavan alueen sen hetkisestä tilanteesta.

Tietoa määreistä kerättiin seuraavasti:

- Tuottavuus - Yksikkömääristä toteumaa seurattiin neliömetreittäin asennuslattiaurakassa ja juoksumetreittäin sähkötöissä työmaahavainnoinnein sekä työmaajohdon tekemästä aikataulutoteumasta. Asennuslattiatöiden seurannassa havainnoitu eteneminen oli pääasiallinen toteumatiedon keräystapa, ja aikataulutoteuma tuki havaintoja. Sähkötöiden valmiusasteen arvioinnin vaikeudesta johtuen niissä käytettiin töihin perehtyneen työnjohtajan ilmoittamaa valmiusastetta, jota työmaahavainnot tukivat. Työntekijätunnit kerättiin työmaan kulunvalvontajärjestelmästä. Työmaalle pääsemiseksi täytyi kulkea kulunvalvontaportin läpi, mikä tuotti henkilökohtaisen tiedon

päivän ensimmäisestä ja viimeisestä kulkemisesta portin läpi. Viikoittaisessa havainnoinnissa kerättiin myös sen hetkinen seurattavia tehtäviä suorittavien resurssien määrä kerroksittain.

- Esteiden tai häiriöiden määrä ja laatu - Työmaahavainnoinin yhteydessä löydetty työn esteet kirjattiin ylös. Lisäksi dokumenttianalyysissä tutkittiin urakoitsijoihin liittyvät löytyneet asiakirjat, joista kirjattiin ylös potentiaaliset häiriöt tai esteet. Havainnoidut ja dokumenttianalyysissä löydetty esteet ja häiriöt varmistettiin haastatteluissa. Pääosin tieto esteistä ja häiriöistä saatiin kuitenkin haastatteluista.
- Tilanteet, joissa havaittiin etukäteen esteitä - Tietoa kerättiin dokumenttianalyysillä urakoitsijapäytäkirjoista ja aamupalaverista. Lisäksi tietoa saatiin haastatteluista.
- Tuotantonopeus työvuoroa kohti - Tuotantonopeuden keräämisessä saatu toteuma laskettiin työvuoroa kohti.
- Seurattavien tehtävien valmistuminen verrattuna aikatauluun - Tehtävien toteumatietoa verrattiin vaiheaikatauluun.
- Toteuman seurantatiheys ja aikataulun käytettävyys tuotannonsuunnittelussa - Vaiheaikatauluseurannan tiheys saatiin dokumenttianalyysillä. Käytettävyydestä saatiin haastattelumainintoja.
- Seurattavien urakoitsijoiden varaama tila - Toteumatiedosta saatiin tieto tiloista, joissa urakoitsijalla on työt kesken.
- Edellisestä urakoitsijasta aiheutuneet viivästykset aikataulutehtävästä toiseen siirryttäessä - Toteumasta saatiin tieto tehtävän pysymisestä aikataulussa. Dokumenttianalyysistä ja haastatteluista saatiin tietoa tehtävien pysymisestä aikataulussa.
- Tuotannon jatkuvuus - Toteumasta ja havainnoinnista saatiin tieto siitä, tekeekö urakoitsija työn tasaisesti loppuun, vai siirtyykö se välissä muualle.
- Tehtävien aloitukset ja kestot - Toteumasta saatu tieto
- Resurssimäärät - Kulunvalvontatiedon pohjalta saatu tieto

Teemahaastattelut suoritettiin haastatteleamalla projektiin liittyvää henkilöstöä niin kohdeyrityksestä, kuin seurattavat tehtävät suorittavista yrityksistä. Empirian ensimmäisen osuuden haastattelut jaettiin kahteen aiheeseen: seurattavien tehtävien sujuminen (aihe 1) ja työmaan käytännöt (aihe 2). Haastateltavien valinnassa käytettiin harkinnanvaraista otantaa, missä tutkija valitsee kohdejoukon (Hirsjärvi ja Hurme 2000). Tässä tapauksessa kuitenkin kysyttiin haastattelujen lopussa suosituksia seuraavaksi haastateltavaksi. Harkinnanvaraisen otannan käyttö oli tässä tapauksessa perusteltua, koska tarkoituksena oli saada tietoa tiettyjen työvaiheiden kulusta, ja kulusta vastaavat henkilöt olivat tiedossa. Aiheeseen 1 liittyen pyrittiin saamaan haastatteluun molemmista seuratuista työvaiheista edustajat työntekijöistä (nokkamies), urakoitsijan projektinjohdosta sekä kohdeyrityksen vastuuhenkilöistä työvaiheeseen liittyen. Tavoitteena oli näin saada kaikilta työvaiheesta

vastuussa olevilta kokemukset vaiheen kulusta. Kaikkia haastateltiin aiheeseen 2 liittyen, mutta käytäntöjen varmistamiseksi ja lisäkokemusten saamiseksi haastateltiin seurattavista vaiheista vastuussa olevien lisäksi projektinjohtoa sekä menetelmien käytöstä vastuussa olevia. Aiheeseen 2 liittyviä haastatteluja tehtiin, kunnes siihen liittyvää uutta tietoa ei tullut esille. Haastattelujen tiedot on esitelty taulukossa 5.

Taulukko 5 Haastattelujen tiedot empirian ensimmäiseen osaan liittyen.

Nro	Pvm	Työnkuva	Kesto	Aihe
H1	28.8.	Työmaapäällikkö	1h21min	2
H2	29.8.	Asennuslattiatöiden urakkavalvoja	1h42min	1, 2
H3	5.9.	Aikatauluinsinööri	59min	2
H4	9.9.	Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtaja	45min	1, 2
H5	11.9.	Aluevastaava	1h42min	2
H6	19.9.	Sähkönokka	46min	1, 2
H7	23.9.	Kehitysinsinööri (Tahtikouluttaja/fasilitoija)	1h8min	2
H8	23.9.	Sähköurakoitsijan projektipäällikkö	1h	1, 2
H9	2.10.	Talotekniikka-asiantuntija (Sähkötyöt)	1h2min	1, 2

Haastattelurunko on esitetty liitteessä A. Jokaisen haastattelun alussa esiteltiin työn tarkoitusta ja kysyttiin haastateltavan tehtävästä projektissa. Lopuksi kysyttiin aina muita ajatuksia työhön tai aiheeseen liittyen. Haastattelurungon kysymyksiä käsiteltiin kahden aiheen pohjalta painottaen haastateltavan työnkuvan mukaista kokemukseen liittyviä kysymyksiä. Aiheet verrattuna haastattelurunkoon:

- Aihe 1: Haastattelurungon kohta 1.1. Nokkamiehet, työnjohtajat ja urakkavalvojat.
- Aihe 2: Haastattelurungon kohdat 2.1. ja 3.1. Nokkamiehet, työnjohtajat, urakkavalvojat, projektinjohto ja asiantuntijat.

Esimerkiksi nokkamiehiltä ja työnjohtajilta kysyttiin enemmän tuotantonopeudesta ja häiriöistä, sekä kokemuksista työmaan yhteistoiminnallisten käytäntöjen hyödyllisyydestä, kun taas työmaapäälliköltä, aluevastaavalta ja aikatauluinsinööriltä kysyttiin enemmän työmaan käytännöistä, niiden hyödyllisyydestä sekä menetelmien toteuttamisesta. Haastattelutilanteet olivat joustavia, ja kohdat käytiin nopeasti läpi, jos haastateltavalla ei ollut niihin sanottavaa.

3.2.3 Aineiston analysointi

Määrällinen tieto työntekijöiden työtunneista sekä työvaiheiden etenemisestä koottiin excel-tilaukseen käsittelyä varten. Kulunvalvontatiedoista saatiin päivittäiset työtunnit sekä työmaalla ollut resurssimäärä. Havainnoinnista sekä dokumenteista kerättiin viikottainen toteumatieto määrinä. Asennuslattiatöissä toteuman määrätieto laskettiin työmaalta

otettujen kuvien avulla pohjakuvista, mitä verrattiin dokumenttien, kuten laskennan ja tehtäväsuunnitelmien määriin, sekä työnjohdon ilmoittamaan prosenttitoteumaan. Sähkötöissä käytettiin kerroskohtaista laskentatietoa verrattuna työnjohdon ilmoittamaan prosenttitoteumaan määrien laskemisessa.

Viikoittain kerätyt havainnot työntekijöistä kerättiin kerroksittain taulukkoon. Sähkötöitä oli käynnissä rakennuksessa muuallakin, kuin seuratulla alueella, joten niissä työntekijäresterin tunti- tai resurssitieto ei suoraan kerro, kuinka moni on tekemässä työvaihetta tai kuinka kauan. Asennuslattiatyöt olivat käynnissä ainoastaan seurattavalla alueella, joten työntekijäresterin tietoa voi verrata suoraan työvaiheiden etenemiseen.

Haastattelut nauhoitettiin myöhempää litterointia varten. Nauhoitteesta tehtiin perustason litterointi, eli niistä kirjattiin ylös vain aiheisiin liittyvät asiat, jolloin täytesanat, äännähdykset ja aiheen ulkopuoliset asiat jätettiin pois. Haastattelun, litteroinnin ja aineiston käsittelyn teki sama henkilö, minkä ansiosta jo litterointivaiheessa voitiin tehdä aineiston analysointia ja tiivistämistä.

Haastattelut litteroitiin jatkuvaksi tekstiksi haastatteluittain, ja tätä litterointia käytettiin aihekohtaisten vastausten koontiin. Aineistoa selvennettiin aiheittain, eli pyrittiin vähentämään toistoja ja epäolennaisia seikkoja (Hirsjärvi ja Hurme 2000). Tämän jälkeen varsinainen analyysi tehtiin merkitysanalyysillä (Hirsjärvi ja Hurme 2000), eli etsimällä haastatteluvastauksista yhteneväisyyksiä, toistuvuutta ja säännönmukaisuuksia. Näin pyrittiin luomaan haastatteluista merkityksellisiä kokonaisuuksia aiheisiin liittyen. Lisäksi aineistoa analysoitiin ad hoc -menetelmällä, jossa tutkija pyrkii parhaaksi katsomallaan tavalla löytämään merkityksellisiä yhteyksiä aineistosta.

Aineiston analyysissä ja synteesissä käytettiin abduktiivista päättelyä, mikä tarkoittaa, että tutkijalla on teoriapohjaisia ideoita, joita hän pyrkii todentamaan aineiston analyysillä (Hirsjärvi ja Hurme 2000). Timmermansin ja Tavoryn (2012) mukaan abduktiivinen analyysi on laadullinen analyysitapa, jonka tarkoituksena on luoda luovia ja uusia teoreettisia näkökulmia käyttäen hyödyksi teorialtetta ja heuristisia menetelmiä. Heidän mukaansa abduktiivisessa analyysissä tutkija ei takerru olemassa oleviin teoreettisiin ideoihin, vaan pyrkii käyttämään mahdollisimman laajaa ymmärrystä teoriasta hyödyksi, kehittämällä tutkimusprosessin aikana uutta ymmärrystä asiasta. Abduktiivinen analyysi yhdistää induktiivisen, eli päättelyn yksittäisistä tapauksista yleisen teorian vahvistamiseksi sekä deduktiivisen päättelyn, eli päättelyn yleisestä teoriasta yksittäiseen tapaukseen (Tavory ja Timmermans 2014). Abduktiivisessa analyysissä yllättäviä empiirisiä löydöksiä käytetään uusien hypoteesien luomiseen, mitä tämän jälkeen testataan jälleen uudelleen (Tavory ja Timmermans 2014). Tämä analyysitapa sopii hyvin tutkimuksen pragmaattiseen tavoitteeseen, sillä se auttaa luomaan uusia näkökulmia aiheeseen, kuitenkin olemassa olevaan teoriaan pohjautuen.

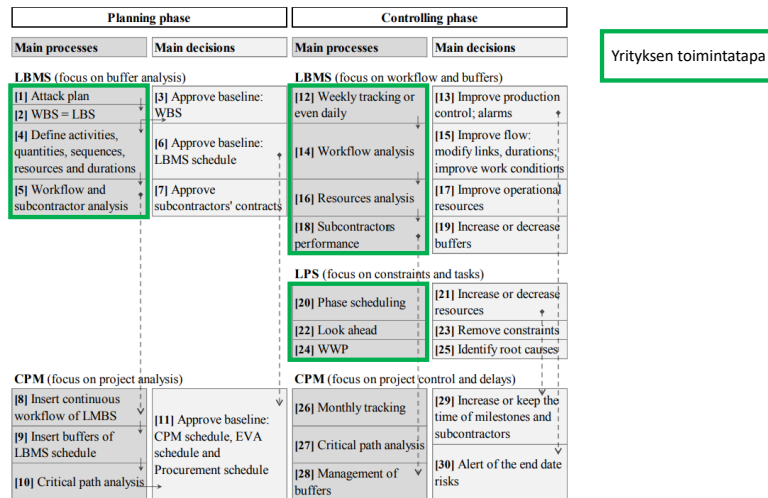
3.3 Työmaan tuotannonohjauskäytännöt verrattuna menetelmiin

3.3.1 Yrityksen toimintajärjestelmä

Kohdeyrityksen tuotannonohjauksen prosessi on kahdesta erillisestä tuotannonohjausmenetelmästä, LBMS:stä ja LPS:stä, yhdistetty järjestelmä. Näiden yhdistämisen on esitetty olevan mahdollista, ja järjestelmien jopa tukevan toisiaan. Näiden menetelmien yhdistelmän lisäksi olennainen osa yrityksen tapaa toimia on tehtäväsuunnittelu. Tuotannonohjausjärjestelmä koostuu intranetistä saadun kuvauksen pohjalta seuraavista osista:

1. **Yleisaikataulu** - suunnitellaan sopimusvaiheessa, perustuu siinä vaiheessa käytävissä oleviin tietoihin. Tärkeimpänä suunnitellaan lohkojako, sekä työtehtävien sisältö, mitoitus ja riippuvuudet.
2. **Vaiheikataulu** - perustuu yleisaikatauluun. Toimintajärjestelmässä kerrotaan perusedellytykseksi vaiheikataulusuunnittelulle toteuttajien mukaan ottamista suunnitteluun. Menetelmäksi ehdotetaan LPS-järjestelmän mukaista KVA-tilaisuutta, joka kuvaillaan vaiheikataulun suunnitteluksi lopusta alkuun. Tavoitteeksi vaiheikataululle esitetään selkeiden välitavoitteiden, joita ei saa ylittää, löytämistä.
3. **Tehtäväsuunnitelma** - aikataulussa jaettujen tehtävien toteutuksen tarkennettu suunnitelma. Tehtäväsuunnitelma tehdään tehtävistä, jotka ovat ajallisesti kriittisiä tai muuten merkityksellisiä. Tarkoituksena on nimittää kullekin tällaiselle tehtävälle vastuullinen työnjohtaja, joka suunnittelee ja valvoo tehtävän toteutuksen kustannusten ja aikataulun osalta.
4. **Valmisteleva suunnitelma** - vastaavan työnjohtajan laatima suunnitelma töiden kulusta seuraavan 4-6 viikon aikana, jossa esitetään tehtävät ja niiden mahdolliset alkamis- sekä päättymispäivämäärät ja vastuuhenkilöt.
5. **Viikkosuunnitelma** - päivätasolle menevä rullaava 3 viikon suunnitelma, jonka työnjohtajat laativat ylemmän tason suunnitelmien sekä tehtäväsuunnitelman pohjalta. Suunnitelma sisältää tavoitemäärät sekä resurssien käytön suunnittelun. Ohjeistuksessa esitetään, että työntekijän tulee osallistua omien tehtäviensä aikataulutukseen.
6. **Päivän työsuunnitelma** - työnjohdot päivittäin työntekijöiden kanssa tekemä arviointi päivän töistä, enimmäkseen työturvallisuuteen painottuen. Ohjeistuksessa kehoitetaan työnjohtajaa huolehtimaan siitä, että työntekijät ovat tietoisia päivän tavoitteista ja vaatimuksista sekä työskentelyolosuhteista.
7. **Aikatauluvalvonta ja tuotannonohjaus** - tehtävien toteutumisen seuranta suunnitelmiin verraten, jotta työnjohtaja voi ennakoida mahdollisia tulevia ongelmia. Tuotannon valvontaan tarjotaan työkaluksi excel-tilukkopohjaa, johon syötetään toteutuneita määriä, sekä control-aikatauluvalvontaohjelmistoa, jolla tehtyyn aikatauluun syötetään toteumat. Tuotannonopeuden ollessa väärä ohjauskeinoiksi ehdotetaan resursseihin, työjärjestykseen, ym. perinteisiin työsisältöihin liittyviä muutoksia.

Esiteltyjen menetelmien osat ovat sinällään käytössä. Kuvassa 30 esitetään yrityksen tapaverrattuna kirjallisuudesta saatuun esitykseen menetelmien yhdistämisestä. Esityksessä CPM liittyy projektinjohtoon, joten sen toteutumista ei analysoitu.



Kuva 30 Yrityksen toimintatapa verrattuna esitettyyn yhdistelmään LBMS:stä ja LPS:stä.

Yrityksen toimintatavasta jää hieman epäselväksi, miten aliurakoitsijoiden kanssa tulee tehdä tarkentuvaa suunnittelua. Vaikka toimintatavan kuvauksessa esitetään yhteistoiminnallisia ominaisuuksia, kuten KVA, yleisluonne on kuitenkin luonteeltaan ylhäältä alas oleva, työnjohtajakeskeinen toimintatapa. Esimerkiksi aliurakoitsijan osallistamisesta viikkosuunnitteluun ei ole mainintaa, vaan aliurakoitsijan tehtävänä on “suunnitella ja sovittaa omien tehtäviensä aikataulut vastaamaan työmaan yhteistä aikataulua”. (Skanska Suomi 2018)

3.3.2 PBP-indeksin mukainen käyttöaste

Työmaan tuotannonohjauskäytännöt pohjautuivat esiteltyyn yrityksen prosessiin ja uusina toimintatapoina oli tuotu tahtiaikataulutus, aamupalaverit, Big Room -palaverit, sekä työkaluja tuotannonohjaukseen, kuten tietomallipohjainen vika- ja puutelista “Dalux”-alustalla ja drone- ja 360 -kuvaukset työmaalla. (H1, H3, H5) Tässä työssä käsiteltäviin kysymyksiin vastaamiseksi tässä kappaleessa esitellään yrityksen prosessin mukaisten osien toteutus, tahtituotannon toteutus sekä aamupalaverikäytäntö työmaalla ja kokemukset näistä.

Projektin suuresta koosta johtuen projektilla oli paljon toimihenkilöitä, projekti toimi pilottikohteena tahtituotannolle ja projektinjohto panosti tavallista enemmän yhteistoiminnallisuuteen, minkä ansiosta projektin tuotannonohjauskäytännöt olivat kokeilevampia ja edistysellisempiä, kuin perinteisillä työmailla. Työmaalla koettiin myös olevan hyvä ilmapiiiri. (H1) Työmaan käytännöt eivät kuitenkaan olleet täysin LPS-prosessin mukaisia, eikä esimerkiksi LBMS-menetelmää käytetty tuotannon ennustamiseen. Kuvassa 31 esitetään lean-käytäntöjen käyttöasteen mittaamiseksi kehitetty PBP-indeksi projektilla.

Tuotannonohjauskäytäntö	Toteutus	Huomio
Suunnittelu- ja ohjausprosessin formalisointi	K	Y3-prosessi
Lyhyen aikavälin tapaamisten vakioiminen	K	Urakoitsijapalaveri, mestaripalaveri
Visuaalisten työkalujen käyttö informaation esittämiseen	O	Toteumalla päivitetty vaihe aikataulu seinällä
PPC:n seuraaminen ja viisi-miksi -analyysi toimineen	E	Ei toteutunut, vaikka mukana viikkorutiinissa
Datan kriittinen analyysi	O	Yleisaikataulutoteuma, litteroiden seuranta, ei vakioitua datapohjaista
Työpakettien oikea määrittely	O	Viikkosuunnitelmaan otettiin
Yleisaikataulun systemaattinen päivittäminen	K	
Keskipitkän suunnittelun standardoiminen	K	KVA-palaverit, vaihe aikataulusuunnittelu ja seuranta palaverissa
Vain työn edellytykset täyttävien tehtävien ottaminen viikko aikatauluun	O	Viikko aikataulukäytäntö vaihtelee huomattavasti
Työntekijöiden mukaan ottaminen lyhyen tähtäimen suunnitteluun	K	Urakoitsijoiden aktiivinen osallistaminen, aamupalaverit
Fyysisten virtausten suunnittelu ja ohjaus	K	Logistiikkasuunnittelu, erillinen logistiikkaurakoitsija
Indikaattoreiden käyttö aikataulun toteutumisen seurantaan	O	Toteumalla päivitetty vaihe aikataulu seinällä
Työn esteiden aktiivinen poistaminen	O	Toteutus vaihtelee, vaikka esteitä etsittäisiin ja löydetäisiin etukäteen
Ymmärrettävän yleisaikataulun käyttö	K	LBMS-menetelmällä tehty vinoviiva-aikataulu
Varamestojen suunnittelu	E	Suunnittelu pohjautuu vaihe aikatauluun, työryhmät suunnittelevat itse varamestojen
Kokonaispisteet	10 / 15	

Pisteytys: K = kokonaan käytössä (1p), O = osittain käytössä (0,5p), E = ei käytössä (0p)

Kuva 31 Projektin PBP-indeksi.

Kuvassa 32 esitellään työmaan tavoiteltu viikkorutiini. Viikkorutiini ei toteutunut aivan kuvan mukaisesti, vaan esimerkiksi PPC:n seuraamista ja viisi-miksi-analyysiä ei tehty aikomuksista huolimatta. (H3, H5) Projektilla kuitenkin pidettiin palaverit sekä seurattiin aikataulun toteutumista viikkorutiinin mukaisesti.



Kuva 32 Työmaan tavoiteltu viikkorutiini.

3.3.3 Toimintajärjestelmän toteutuminen

Työmaan käytännöissä oli eroja niin menetelmien esiteltyyn tarkoitettuun sisältöön, kuin yrityksen itsensäkin toimintatapaan. Projektin tuotannonohjauksen toteutus yrityksen prosessin pohjalta:

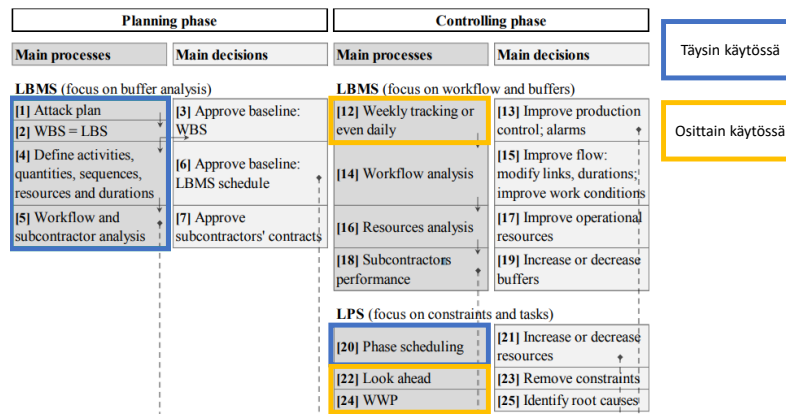
1. **Yleisaikataulu** - Yleisaikataulu tehtiin käytännön mukaisesti, ja se toimi pohjana vaiheaikataululle siinä asetettujen välitavoitteiden muodossa. Yleisaikataulun toteuttamiseksi päivitettiin 1-2 kertaa kuukaudessa työmaakokouksessa tapahtuvaa tilaajalle esittelyä varten. Control-ohjelmistolla tehtyä toteumaa tai siitä syntyvää ennustetta ei käytetty tuotannonohjauksessa. Työmaan tilanteen kuvaamiseen käytettiin vinoviiva-aikataulun sijaan vaiheaikataulua, joka kattoi kaikki lohkot. Työmaatoimiston seinällä ei siis ollut vinoviiva-aikataulua, vaan excelillä luotu vaiheaikataulu.
2. **Vaiheaikataulu** - LPS-menetelmän mukainen käännetty vaiheaikataulutus alkoi kesken projektin. Vaiheaikatauluksen tekeminen yhteistoiminnallisesti aloitettiin maaliskuussa 2019 sisävaiheen töihin, ensin C-lohkolla ja sittemmin seuraavaksi tulevilla lohkoilla. Tätä ennen tulleet vaiheet, kuten runkovaihe ja julkisivun työt aikataulutettiin yleisaikataulun pohjalta kriittisen polun menetelmällä, kuitenkin yhteistyössä kunkin aliurakoitsijan kanssa. Yhteistoiminnallisesti tehty aikataulu tuli käyttöön, kun levyväliseinätyöt olivat käynnissä C-lohkolla. Vaiheaikataulua ei päivitetty tai muutettu sen luomisen jälkeen tämän työn seurannan aikana, vaan aikatauluun syötettiin toteuma ja tuotantoa ohjattiin siitä saadun tilannekuvan avulla. Sittemmin marraskuun alkuun oli tehty uusi sisävaiheaikataulu, jossa esitettiin sisävaiheen töiden loppuun saattaminen.

Sisävaiheeseen luotua aikataulua olivat tekemässä lähes kaikki vaiheeseen osallistuvat urakoitsijat. Vaiheaikataulua pidettiin tarkimpana aikatauluna työmaalla, ja tuotannonohjaus pohjautui paljolti siinä suunniteltuun järjestykseen, tahdistukseen ja toteumaan. Vaiheaikataulutus toteutui LPS-menetelmän mukaisesti sisävaiheen töihin. Sisävaiheen aikataulun luomiseksi pidettiin aliurakoitsijoiden kanssa 6-7 kappaletta 3-4 tunnin palavereita parin viikon välein, minkä lisäksi aikatauluinsinööri teki useamman päivän viikossa töitä aikataulun kanssa. Aikataulun luomisessa olennaisessa osassa oli työnjohtajan tekemä ennakoivaltuutuminen palaveriin, eli työn sisältöön tutustuminen ja alustava järjestyksen sekä jaon luominen.
3. **Tehtäväsuunnitelma** - Tehtäväsuunnitelmia tehtiin projektin laatusuunnitelman ennalta määräämistä tehtävistä, ja niiden toteutumisesta valvottiin. Työmaan sisäisen prosessin mukaisesti tehtäväsuunnitelmien oli tarkoitus olla valmiita aina neljä viikkoa ennen työvaiheen alkua. Tehtäväsuunnitelmien sisältö on määrätty yrityksen toimintajärjestelmässä, ja niiden tekemiseen on tarjottu excel-pohja. Tehtäväsuunnitelman sisältö on kuitenkin vaiheesta vastaavan urakkavalvojan vastuulla, mikä aiheutti vaihtelua toteutustavoissa. Tehtäväsuunnitelman tarkoituksena on tutustuttaa urakkavalvoja työvaiheeseen. Esimerkiksi asennuslattiatoista tehtiin tehtäväsuunnitelma, mikä edesauttoi tässä projektissa urakkavalvojaa sisällön ymmärtämisessä ennen urakoitsijan kanssa toimimista.
4. **Valmisteleva suunnitelma** - Projektissa valmistelevan suunnitelman luominen oli aluevastaavan vastuulla, ja se tehtiin noin 10 viikoksi eteenpäin. Projektin koosta johtuen aluevastaavat olivat käytännössä "aluekohtaisia vastaavia työnjohtajia", ja työvaiheiden töitä valvovat urakkavalvojat toimivat aluevastaavien alla organisaatiossa. Tämän työn seurannan aikana työmaalla toimi kolme aluevastaavaa, joiden

päävastuualueina oli runkotyöt ja talotekniikan yhteensovitus, sisävalmistus sekä julkisivut ja vesikatto. Aluevastaavat tekivät vastuualueisiinsa kuuluvien rakennusosien tuotannonsuunnittelua ja yhteensovitusta urakoitsijoiden kanssa, luoden kymmeniä viikkoisaikataulun vaiheeseen kuuluvista töistä. Sisätöiden osalta kymmenviikkoisaikataulun korvasi sisävaiheen aikataulu, eli viikkosuunnitelmat tehtiin tarkimman aikataulun - sisävaiheaikataulun - pohjalta. Sisävaiheen aluevastaava teki kuitenkin valmistelemaa suunnittelua ja töiden edellytysten varmistamista LPS-menetelmän periaatteen mukaisesti.

5. **Viikkosuunnitelma** - Viikkosuunnitelma oli osa urakkavalvojan viikkorutiinia sekä aliurakoitsijoiden viikottaista työvaiheilmoitusta. Viikkosuunnitelmien sisältö kuitenkin vaihteli huomattavasti, eikä niitä voi yleisesti pitää LPS-menetelmän mukaisina. Viikkosuunnitelmiin otettiin mukaan tehtäviä, joiden aloitusedellytyksiä ei ole varmistettu. Viikkosuunnitelmat toimivat kuitenkin pohjana aliurakoitsijoiden kanssa käydyille viikoittaisille työsuunnittelupalaverille. Viikon tahtiajalla olleen vaiheaikataulun sisällä pystyttiin tekemään yhteensovitusta päivätasolla, mikä tapahtui viikkosuunnittelussa. Työmaapäällikkö (H1) kuvaili viikkosuunnitelmaa urakkavalvojan omaksi suunnitteluksi, kun taas vaiheaikataulu on "raamattu". Hänen mukaansa viikkosuunnittelu jäi toisarvoiseen asemaan vaiheaikataulun ollessa isommassa merkityksessä. Viikkosuunnitelmia käytiin läpi mestaripalaverissa, mutta niiden toteutumista tai tarkalla tasolla tarkastelua ei ehditty tehdä. Aluevastaava ja aikatauluinsinööri vertasivat urakoitsijoiden ja urakkavalvojen viikkosuunnitelmia vaiheaikatauluun. PPC:tä ei mitattu tai viisi-miksi -analyysiä tehty.
6. **Päivän työsuunnitelma** - Päivän työsuunnitelma toteutettiin aamupalaverissa. Prosessin mukainen ja työmailla yleisesti käytössä oleva aamun työnjako tehtiin fasilitoidusti päivittäisellä kello seitsemän palaverilla, jossa jokainen urakoitsija kertoi missä tulee tekemään töitä, vaikuttaako muihin ja tarvitseeko PJU:lta jotain töiden suorittamiseksi (siivous, telineet, ym.).
7. **Aikatauluvalvonta ja tuotannonohjaus** - Tarjottujen työkalujen kuten control-ohjelmiston, viikkosuunnitelman PPC:n seuraamisen tai tuotannon toteuman seurantaan tarkoitettujen excel-taulukoiden sijaan projektilla käytettiin aikataulun seurantaan yksinomaan vaiheaikatauluun merkittyä toteumaa. Urakkavalvojat ja aluevastaavat kiersivät viikoittain omat alueensa ja merkkasivat toteuman seinällä olevaan vaiheaikatauluun. Aikatauluinsinööri vertasi omia havaintojaan sekä urakoitsijoiden ja urakkavalvojen antamia viikkosuunnitelmia aikatauluun ja päivitti viikoittain tehtävien toteutumisen vaiheaikatauluun. Vaiheaikataulun seurannalla saatua tilannekuvaa pidettiin yleisesti ehkä parhaana "uutena" käytäntönä työmaalla, ja se toimi työkaluna useassa palaverissa sekä yleisesti tuotannonsuunnittelussa.

Kuvassa 33 esitetään toteutunut toimintatapa verrattuna menetelmiin. Kuten nähdään, ennakkosuunnittelu oli hyvällä tasolla, mutta lyhyen tähtäimen tuotannonohjaus ja LBMS:ssä tarkoitettu ennustaminen jäi menetelmissä tarkoitettua heikommalle tasolle.



Kuva 33 Toteutunut toimintatapa verrattuna esitettyyn yhdistelmään LBMS:stä ja LPS:stä.

3.3.4 Tahtituotannon ja aamupalaverien toteutuminen

Haastatelluille henkilöille projektissa tahtiperiaatteen mukainen aluejako ja aikataulutus sekä päivittäinen aamupalaveri olivat uusia, tai ainakin hyvin vähän käytössä olleita, käytäntöjä. Tässä käsitellyt menetelmät olivat osa projektin käytäntöjä, jotka vaikuttivat yhteistoimintaan aliurakoitsijoiden kanssa.

Tahtituotanto

Tahtisuunnittelussa käytettiin kappaleessa 2.3.3 esiteltyä Kalifornian mallin mukaista menetelmää. Tahtiaikataulutus tehtiin viikon tahdilla, jakaen lohkot kuvassa 35 esitettyihin kolmeen osaan: avotoimisto, koppialue ja käytävät. Alueiden tarkempaan jakamiseen kannusti kerrosten suuri koko: jakamalla aikataulu pienempiin osiin saatiin tilat tehokkaammin käyttöön aikataulussa. Tahtiaikataulutus tehtiin "lempeämmillä" käyttämällä nimeä sisävaiheen aikataulu, ja pitämällä sijainti-aika -akselit vinoviiva-aikataulun mukaisesti alhaalta ylöspäin kulkevana. Alunperin aikatauluinsinöörin esittämä aluejako esiteltiin aliurakoitsijoille, jotka KVA-palaverissa aikatauluttivat tehtävät yhdessä alueiden sisältöjen mukaisesti. Koska kyseessä oli pilottikohde, tahtiaika pidettiin viikossa, eikä tahtialueita aikataulutettu tiukasti yhden työryhmän suorituksen mukaisesti, vaan enemmänkin aliurakoitsijoiden sitoutumisten mukaisesti. Tavoitteena oli kuitenkin jakaa alueet pienempiin erillisesti suoritettaviin kokonaisuuksiin, jotta tyhjää tilaa saataisiin tehokkaammin käyttöön eräkokoa pienentämällä. Tahtisuunnittelun tarkoitus oli myös selkeyttää tehtävien ajallisia ja sijainnillisia rajoja sekä tehtävien välisiä luovutuksia projektin toteuttajille.

Tahtiperiaatteen mukaisia ohjauskeinoja, kuten tahtialueiden irtikykentää tai junan pysäytystä ei käytetty tuotannonohjauksessa, vaan työvaiheet yhteensovitettiin erillisinä työvaiheina. Tuotannon oli tarkoitus kulkea suunnitelluissa järjestyksissä, mutta tietyissä paikoissa tehtäviä valmistui ennen edellisten tehtävien valmistumista.

Aamupalaveri

Aamupalaveri pidettiin joka aamu kello seitsemän, ja paikalle kutsuttiin edustaja jokaiselta urakoitsijalta (nökkamies tai työmaalla kokopäiväisesti oleva työnjohtaja). Lisäksi PJU:n omat urakkavalvojat osallistuivat palaveriin. Palaveri kesti noin 15 minuuttia, ja jokaisella

aliurakoitsijalla oli puheenvuoro. Lisäksi PJU esitti lopuksi omat yleiset asiansa työmaan käytännöistä. Aamupalaverin jälkeen oli mahdollisuus jäädä jatkamaan työnsuunnittelua erikseen työvaiheisiin liittyen.

3.4 Asennuslattiatöiden ja niiden alapuolisten sähkötöiden onnistuminen

3.4.1 Tehtävien esittely

Kuten mainittu, seuratut tehtävät olivat vahvasti toisistaan riippuvia: asennuslattiatyöt edellyttivät sähkötöiden täydellistä valmiutta, mutta myös sähkötyöt vaativat tiedon asennuslattian jalkojen asennuspaikoista. Asennuslattiaurakoitsija teki linjamerkinnot sähköurakoitsijaa varten, ja sähköurakoitsija asensi tämän perusteella sähköhyllyt. Asennuslattia on rakennusosa, joka toimii pohjana lattiapinnalle, ja jonka alla kulkee talotekniikkaa. Alapuoliset sähkötyöt sisältävät lattialla kulkevat johtotiet, näille tulevat sähkökaapeloinnit sekä pistorasiat ja muut tekniset osat sähkön jakamiseksi toimistotilaan lattian alla. Lisäksi hyllyille asennettiin telekaapelointi ja siihen liittyvät osat tietoliikenneyhteyden saamiseksi toimistotilaan. Teletyöt teki toinen urakoitsija, kuitenkin saman aikataulutehtävän sisällä ja tiiviissä yhteistyössä sähköurakoitsijan kanssa. Teletöitä ei kuitenkaan seurattu tässä tutkimuksessa. Kuvassa 34 esitetään asennuslattiatöitä, ja siinä nähdään myös sähkötöiden ja linjamerkintöjen liittyminen kokonaisuuteen.



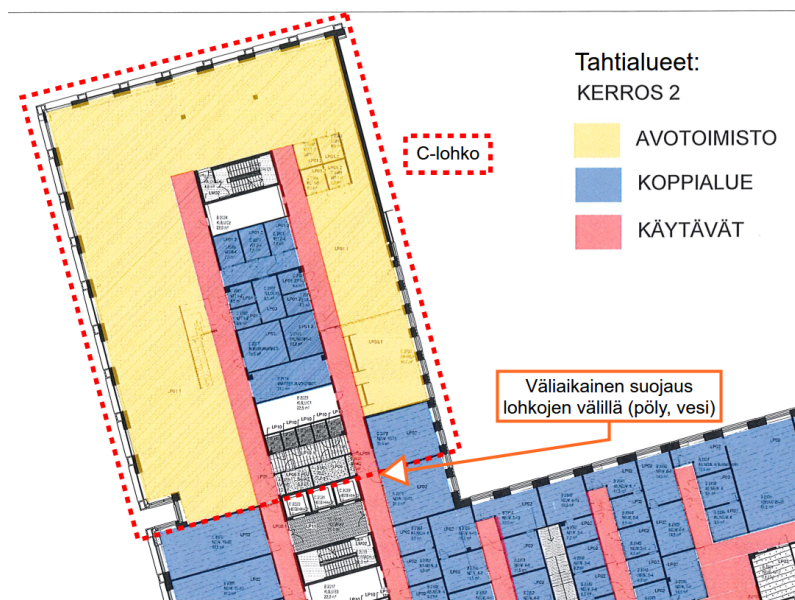
Kuva 34 Asennuslattiatyöt, näiden alapuoliset sähkötyöt sekä merkinnät jalkojen paikoista.

Asennuslattiaurakoitsijan urakkaan kuului urakkarajaliitteen mukaisesti asennustyöt niihin liittyvine mittauksineen, jalkojen pohjina toimivien ontelolaattojen epätasaisuuksien merkkäminen, työnjohto, materiaalien vastaanotto ja haalaukset kerroksiin. Itse asennuslattialevyjen hankinta ja toimittaminen työmaalle oli projektinjohtourakoitsijan vastuulla.

Alapuoliset sähkötyöt olivat melko pieni osa kaikkia sähkötyitä. Sähköurakoitsija vastasi työvaiheen toteutuksesta kokonaan, eli materiaalit, asennukset ja työnjohto kuuluivat urakkaan.

3.4.2 Vaiheaikatauluun verrattu seurattujen tehtävien toteuma

Molempien työvaiheiden aikatauluna toimi aliurakoitsijoiden kanssa yhdessä laadittu sisävaiheen vaiheaikataulu. Aikataulu laadittiin keväällä 2019 useamman KVA-tilaisuuden tuloksena, ja se valmistui 30.4. Molemmat urakoitsijat olivat sitoutuneita työvaiheen toteuttamiseen aikataulun mukaisesti. Kuvassa 35 esitetään esimerkki aikataulun pohjana olleesta tahtialuejaosta C-lohkon 2. kerroksessa.



Kuva 35 Esimerkki C-lohkon kerroksesta ja tahtialuejaosta.

KVA-palaverien tuloksena syntyi aikataulu, jonka mukaan sähköurakoitsija tekee ensin noin neljän viikon aikana kerroksissa yläpuoliset sekä alapuoliset asennukset. Noin neljästä viikosta kaksi jälkimmäistä varattiin alapuolisille asennuksille. Aikataulun mukaan asennuslattiaurakoitsijan tulee tehdä ennen alapuolisia sähkötyitä lattialinjamerkinnät, jotta sähköurakoitsija tietää, mihin johtotiet tulee asentaa. Näiden jälkeen jätettiin noin viikon aikapuskuri ennen asennuslattiatöitä. Asennuslattiatöille varattiin kaksi viikkoa per kerros, pois lukien aloitus 2. kerroksessa, johon varattiin kolme viikkoa. Asennuslattiatöiden jälkeen oli heti tarkoitus aloittaa alakattotyöt avotoimistoalueella ja koppialueella. Kuvassa 36 esitetään aikataulu rajattuna seurattuihin kerroksiin ja ajanjaksoon.

Työmaahavainnoinnin ja dokumenttien pohjalta kerättiin esitetysti tieto työvaiheiden kuluista aikatauluun verrattuna. Saatu toteuma esitetään kuvassa 37.

VKO ALKAA TYÖPÄIVÄ			26.5.2019	2.6.2019	9.6.2019	16.6.2019	23.6.2019	30.6.2019	7.7.2019	14.7.2019	21.7.2019	28.7.2019	4.8.2019	11.8.2019	18.8.2019	25.8.2019	1.9.2019
LOHKO	KERROS	Alue	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
A	2	AVOTOMISTO	Selite SÄH tai Vaaleansininen = sähkötyöt AL tai Punainen = asennuslattiatyöt Tummanvihreä toteuma = sovituissa aikataulussa pysynyt tehtävä Vaaleanvihreä toteuma = myöhästynyt tehtävä, joka ei vaikuttanut seuraavaan tehtävään Keltainen toteuma = myöhästynyt tehtävä, joka vaikutti seuraavaan tehtävään Viivoitettu tummanpunainen = yli 90% valmiusasteeseen tehtyä tehtävää (häntä) Viivoitettu vaaleankeltainen = yli 95% valmiusasteeseen tehtyä tehtävää (häntä) Vaaleanruskea = alapuolisten sähkötyöiden edellytyksenä olleet linjamerkinnot									ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA	
A	2	KOPPIALUE										ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA	
A	2	KÄYTVÄT										ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA	
C	6	AVOTOMISTO											ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA
C	6	KOPPIALUE											ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA
C	6	KÄYTVÄT											ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT	ALAPUOLISET SÄHKÖTYÖT		ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA
C	5	AVOTOMISTO											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	5	KOPPIALUE											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	5	KÄYTVÄT											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	4	AVOTOMISTO											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	4	KOPPIALUE											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	4	KÄYTVÄT											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	3	AVOTOMISTO											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	3	KOPPIALUE											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	3	KÄYTVÄT											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	2	AVOTOMISTO											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	2	KOPPIALUE											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			
C	2	KÄYTVÄT											ASENNUS LATTIA	ASENNUS LATTIA			

Kuva 37 Seurattujen työvaiheiden toteuma.

Kuten toteumasta nähdään, sähköurakoitsija sai tehtyä alapuoliset työt ilman, että ne vaikuttivat asennuslattiatöihin. Kerroksissa kolme ja neljä jääneet hännät eivät vaikuttaneet asennuslattiatöihin kerrosalueen laajuudesta ja häntien vähäisyydestä johtuen. Asennuslattiatyöt etenivät suunniteltua hitaammin, ja urakoitsija pyristeli saadakseen aloitusedellytykset seuraavalle urakoitsijalle. Asennuslattiatehtävien massamaisten osuuksien valmistumisen myöhästymisen vaikutti seuraavien kerrosten aloituksiin. Lisäksi asennuslattiatöissä jäi joka kerrokseen häntiä, jotka eivät kuitenkaan estäneet heti seuraavan urakoitsijan työvaiheen aloitusta.

3.4.3 Aikataulun yleinen toteutuminen

Kuvassa 38 esitetään 30.4. tehdyn vaiheaikataulun toteutuminen sellaisenaan. Vihreällä merkityt tehtävät valmistuivat alkuperäisen suunnitelman mukaisella viikolla ja punaisella merkatut joskus myöhemmin. Tämä tieto perustuu työnjohdon keräämään toteumaan. Työnjohto merkkasi viikon valmistuneeksi, jos se oli arviolta suunnitellussa valmiusasteessa. Tämän takia kahden viikon tehtävän keskellä valmiusaste on saattanut jäädä ja muuttunut punaiseksi, vaikka tehtävän ensimmäinen vikko oli ajoissa. Kuvasta nähdään, kuinka vaiheaikataulun ulkopuolisella työsuunnittelulla ja yhteensovituksella oli suuri merkitys töiden yhteensovituksen kannalta, vaikka haastattelujen perusteella vaiheaikataulu oli tarkin aikataulu eikä tarkentava suunnittelu ollut LPS-menetelmän mukaista.

LOHKO	KERROS	Alue	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
C	1	AVOTOMISTO		VALMISTUNUT JA OTSAT	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	SPR-HAAKAT	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT OTSAK TEKNIKKA LATTIA	MAALAU	OTSAK TEKNIKKA LATTIA	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN
C	1	KOPPIALUE	VALMISTUNUT JA OTSAT	VALMISTUNUT JA OTSAT	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	1	KÄYTÄVÄT	VALMISTUNUT JA OTSAT	VALMISTUNUT JA OTSAT	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	6	AVOTOMISTO	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	SPR-HAAKAT	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT OTSAK TEKNIKKA LATTIA	MAALAU	OTSAK TEKNIKKA LATTIA	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN
C	6	KOPPIALUE	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	6	KÄYTÄVÄT	TEHTÄVÄ JA MAALAU	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	8	AVOTOMISTO	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	SPR-HAAKAT	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT OTSAK TEKNIKKA LATTIA	MAALAU	OTSAK TEKNIKKA LATTIA	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN
C	8	KOPPIALUE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	MAALAU OTSAK TEKNIKKA LATTIA	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	8	KÄYTÄVÄT	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	MAALAU OTSAK TEKNIKKA LATTIA	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	4	AVOTOMISTO	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	4	KOPPIALUE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	4	KÄYTÄVÄT	MAALAU OTSAK TEKNIKKA LATTIA	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	3	AVOTOMISTO	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-RUNGOT VÄNTTÄYTY PÄÄNNE	IV-HAAKAT	SPR-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	3	KOPPIALUE	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	3	KÄYTÄVÄT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT	IV-HAAKAT
C	2	AVOTOMISTO	MAALAU OTSAK TEKNIKKA LATTIA	HOVIVIEROINUS- JÄTÄT	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN
C	2	KOPPIALUE	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN
C	2	KÄYTÄVÄT	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN	VALMISTUNUT TUSKIN

Kuva 38 Sisävaiheen aikataulun toteutuminen.

Työmaalla ei ollut vakiintunutta käytäntöä PPC:n seuraamiseen, eli sitoutumisista ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa. Tuotannonohjauksen toteutumista PPC:nä mitattuna ei siis pystytty analysoimaan.

3.4.4 Alapuoliset sähkötyöt

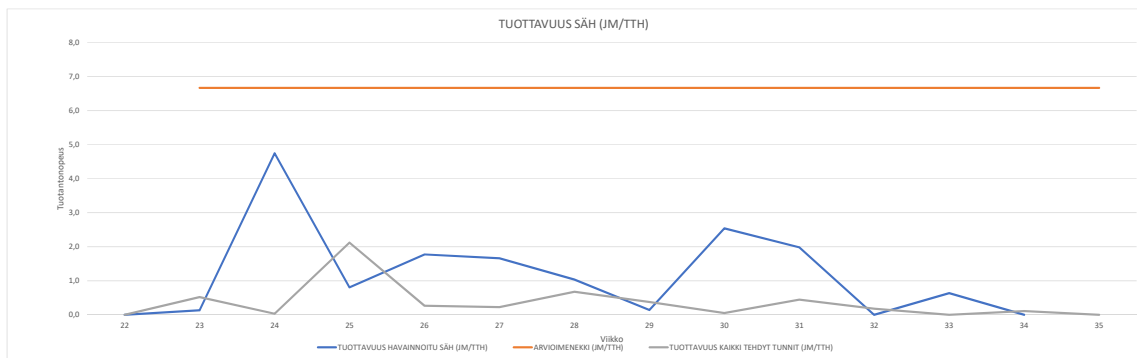
Tässä kappaleessa esitellään hypoteesien testaamiseksi asetetuista määreistä kerätty tieto alapuolisiin sähkötöihin liittyen.

Tuottavuus ja työtunnit

Kuvassa 39 esitetään toteuman mukainen tuotantonopeus verrattuna työntekijärekisteristä saatuun tuntimäärään (kaikki tehty tunnit). Lisäksi esitetään havainnoinnin perusteella saatuun alapuolisia sähkötöitä tehneisiin resursseihin suhteutettu tuottavuus. Havainto perustuu yhteen datapisteeseen viikolta, mistä otettiin prosentuaalinen osuus sen päivän

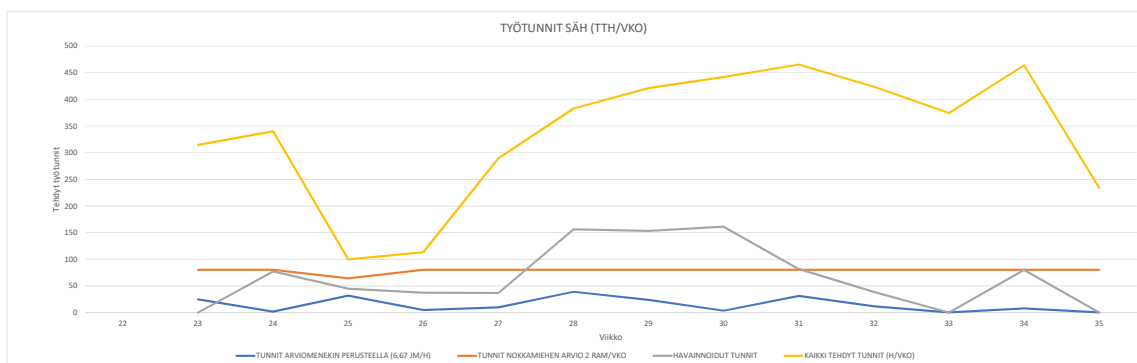
resurssitiedosta ja tämä suhdeluku ekstrapoloitiin kattamaan koko viikko. Prosentuaalinen osuus resursseista kerrottiin sen viikon keskiarvotunneilla ja näin saatiin havainnoidussa tuotantonopeudessa käytetty tuntimäärä. Havainnoitu tuottavuus on hyvin karkea arvio, koska siinä käytettiin vain yhtä mittaustietoa koko viikon työntekijämäärän pohjana. Suhteellisen resurssiosuuden perusteella voi kuitenkin verrata toteutunutta nopeutta yleisesti laskentatiedosta saatuun arvioon menekistä. Kuvassa 40 esitettyihin kokonaistyötunteihin verraten nähdään piikki tuotantonopeudessa juhannusviikolla. Tuotantonopeudessa näkyi noin kahden viikon syklillä piikkejä, eli sähköurakoitsija edisti töitä tietyillä viikoilla enemmän kuin toisilla.

Sähköurakan tuottavuuteen liittyen sähkönokka esitti sen olevan tavanomainen, mutta ei huono (H6). Sähkönokka esitti sähköasentajien porukan olleen hyvin hitsautunut yhteen ja tuntevan toisensa, mikä auttaa tuotannossa (H6). PJU:n talotekniikka-asiantuntija esitti alapuolisten sähkötöiden olleen ehkä paras työvaihe sähköurakoitsijalle, koska urakoitsija pääsi tekemään paljon töitä kerralla (H9).



Kuva 39 Alapuolisten sähkötöiden tuottavuus.

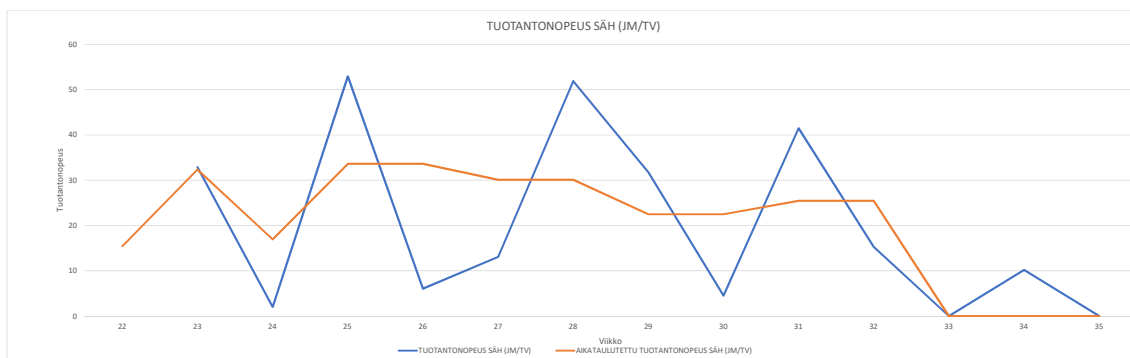
Kuvassa 40 esitetään työntekijärekisteristä saatu tieto kaikista tehdyistä tunneista, sekä eri tavoin arvioidut alapuolisiin töihin käytetyt tuntimäärät. Alapuolisiin töihin käytetty työmäärä näytti pysyvän kohtuullisen tasaisena koko seurantajakson, vaikka sama kahden viikon sykli näkyikin eri muodossa tässä tiedossa.



Kuva 40 Sähköurakoitsijan työtunnit viikkoittain.

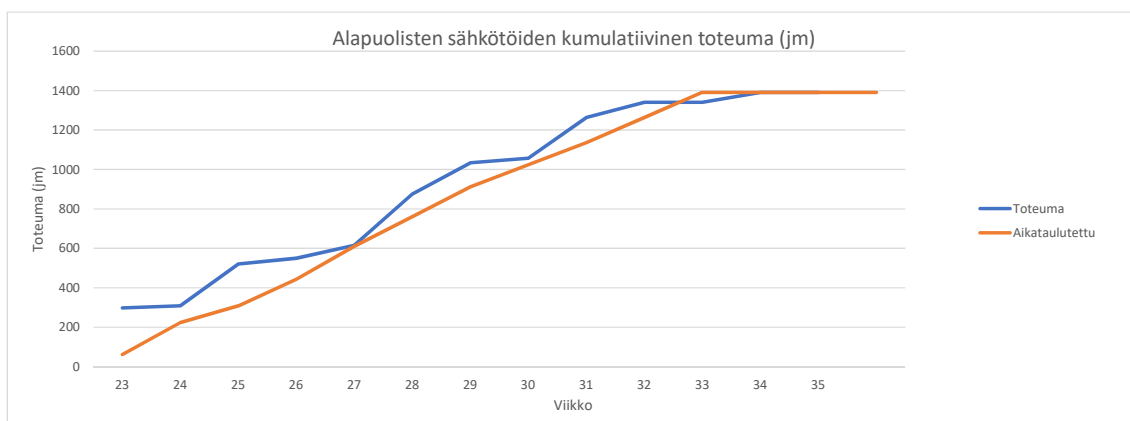
Tuotantonopeus työvuorua kohti

Kuvassa 41 tuotantonopeus työvuorua kohti näyttää selvemmin tuotannon kulun. Tämä tieto perustuu työvaiheiden toteumatietoon ja on varmempi, kuin arvio työvaiheeseen käytetyistä työtunneista. Työvuoropohjaisesta toteumasta nähdään, että sähköurakoitsija teki suunnitellun kahden viikon tehtävät noin viikon nopeina pyrhdyksinä valmiiksi. Haastattelussa sähkönokka kertoi sähköasentajien haluavan tehdä mieluiten kerralla nopeasti yhden työvaiheen valmiiksi, koska maksuperuste asennuksissa on yksikköhintainen (H6). Toisaalta alapuolisiin asennuksiin liittyy kerroksissa näkyvien asennusten lisäksi valmistelevia töitä, kuten materiaalin siirtoja ja osien valmistelua, mitkä eivät näy toteumassa (H6, H8).



Kuva 41 Alapuolisten sähkötöiden tuotantonopeus työvuorua kohti.

Kuvassa 42 on esitetty alapuolisten sähkötöiden kumulatiivinen toteuma verrattuna suunniteltuun. Sähköurakoitsija pysyi aikataulutetun kumulatiivisen määrän edellä, koska se teki nopeissa pyrhdyksissä tahtiajan alussa n. 1-1,5 viikossa koko kahden viikon tahtialueen valmiiksi, ja lähti tämän jälkeen muualle töihin.



Kuva 42 Alapuolisten sähkötöiden kumulatiivinen toteuma.

Esteet tai häiriöt ja niiden syyt

Esteet ja häiriöt perustuvat sähkönokan kanssa tehtyyn haastatteluun (H6). Löydetty esteet, häiriöt ja ongelmat työmaalla:

- **Edeltävät työvaiheet** - Sähkönokan esityksen mukaan edeltävät työvaiheet olivat suurimpia ongelmien aiheuttajia. Toteuman perusteella alapuoliset sähkötyöt pääsivät kuitenkin alkamaan suunnitellusti, vaikka esimerkiksi linjamerkinnot menivätkin päällekkäin kerroksessa 4. Alapuolisia sähkötyitä edeltävien yläpuolisten asennusten aloituksissa oli kuitenkin ilmoituksen mukaan ongelmia: maalaukset olivat myöhässä, mikä vaikutti sähkötyöiden aloitukseen.
- **Rikotut johtotiet** - Lohkorajojen lähellä olleet johtotiet, joiden suojana ei ollut asennuslattiaa oli rikottu. Lohkorajojen lähellä on myös logistiset kulkureitit, mikä aiheuttaa hajoamisia. "Kaikki mikä on paljaana on rikki."
- **Sidosvalut lohkorajojen välillä** - Sidosvalujen puuttumiset estivät asennuksia ensimmäisissä kerroksissa. Sidosvalut ovat rungon osa, joka toimii pohjana myös alapuolisille sähkötyöille. Kyseinen rakennusosa oli vain yhdessä osassa lohkoa, eikä siten estänyt töiden aloitusta, mutta esti työt kyseisessä kohdassa. Puute huomattiin sillä viikolla, kun alapuoliset sähkötyöt aloitettiin ja tehtiin lohkon läpi. Sidosvalut tehtiin samaan aikaan, kun sähkötyöt olivat käynnissä, mikä aiheutti häiriön sähköasentajan asennuksiin. Häiriö keskeytti jatkuvan työn, mutta sähkötyöryhmä pystyi jatkamaan töitä muualla. Sähkönokka esitti, että PJU:n työnjohtajan tulisi ymmärtää sähkötyöiden aloituksen edellytykset, mutta asia ei ollut tullut aiemmin esille työnsuunnittelussa milään taholta.
- **Materiaalien varastointi ja siirtely** - Sähköurakoitsijan tekemät materiaalitilaukset oli rytmitetty sisävaihe aikataulun mukaisesti, mutta edeltäviä työvaiheita, kuten maalauksia oli kesken. Viivästykset aiheuttivat ylimääräisiä materiaalisiirtoja, koska materiaaleja ei voinut viedä suunniteltuun tilaan. Sähkönokan esityksen mukaan jo parin päivän viivästykset aiheuttavat ongelmia materiaalitoimitusten kanssa.
- **Työmaasähkön järjestäminen** - Sähköurakoitsijan urakkaan kuuluneista virranottimista oli otettu työmaasähköä, mikä aiheutti "purkamista ja odottelua". Sähkönokan esityksen mukaan olisi parempi, jos työmaasähkölle olisi omat ylimääräiset virranotimet.

Urakoitsijan varaama tila

Hyvästä aikataulusta pysymisestä johtuen alapuolisia sähkötyitä varten pääsääntöisesti varattiin vain kerros kerrallaan. Työvaihe ei alkanut etukäteen, ja sähköurakoitsija sai työt valmiiksi seuraavaa urakoitsijaa varten. Havainnoinnissa sähköurakoitsija teki alapuolisia sähkötyitä pääsääntöisesti vain yhdessä kerroksessa kerrallaan. Haastattelussa ei tullut myöskään mainintaa, että sähköurakoitsijan materiaalit olisivat tiellä.

Urakoitsijan aiheuttamat viivästykset seuraavalle

Alapuoliset sähkötyöt valmistuivat toteuman perusteella aina ennen asennuslattiatöiden alkamista. Asennuslattiatöiden urakkavalvojan ja asennuslattiaurakoitsijan työnjohtajan haastattelussa kävi myös ilmi, että sähkötyöt olivat valmistuneet ajoissa asennuslattiatöitä varten (H2, H4). Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtaja esitti työvaiheen alussa olleen muutama tapaus, jossa sähköasennukset menivät niille merkattujen linjojen ulkopuolelle, eli asennuslattian jalkojen tielle. Hän kuitenkin esitti, että korjaukset tehtiin nopeasti eivätkä

ne haitanneet asennuslattiatöitä, ja että alun jälkeen vastaavanlaisia ongelmia ei ollut (H4). Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtaja esitti myös, että he menevät siivoojan ja sähköurakoitsijan kanssa ”käsi kädessä”, ja että töitä suunnitellaan ja virheistä opitaan työmaalla työskennellessä (H4). Sähköasentajan palaaminen korjaamaan asennuksia aiheuttaa hukkua ja keskeyttää myös työnteon muualla. Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtajan kertoman mukaan korjattavia asioita oli kuitenkin hyvin vähäinen määrä (H4).

Tuotannon jatkuvuus

Toteuman ja tuotantonopeuden työvuoroa kohti perusteella sähköurakoitsija teki pääsääntöisesti työvaiheen kerroksittain kerralla valmiiksi. Alapuolisissa sähkötöissä jäi häntä ainoastaan kerroksissa 3 ja 4, ja muissa kerroksissa työt tehtiin loppuun aikataulun mukaisesti. PJU:n talotekniikka-asiantuntija esitti sähköurakoitsijan pitävän jatkuvasta isosta massasta ja tekevän alapuoliset sähkötyöt ensin asentamalla johtotiet koko kerrokseen ja tämän jälkeen kaapeloimalla koko alueen kerralla (H9).

Sähköurakoitsijalla ei jäänyt häntä kuin kahdessa kerroksessa viikoilla 27-30. Näissä tapauksissa työt valmistuivat 90% valmiusasteeseen, jonka jälkeen kesti noin kaksi viikkoa saada työvaihe 100% valmiusasteeseen. Havainnoinnissa huomattiin alapuolisten sähkötöiden lähes pysähtyneen viikolla 29. Tästä voidaan päätellä urakoitsijan tehneen kerroksen 3 valmiiksi ja kerroksen 4 lähes valmiiksi ja siirtyneen tämän jälkeen muualle viikoksi, palatakseen viimeistelemään kerroksen ja aloittaakseen seuraavan kerroksen työt.

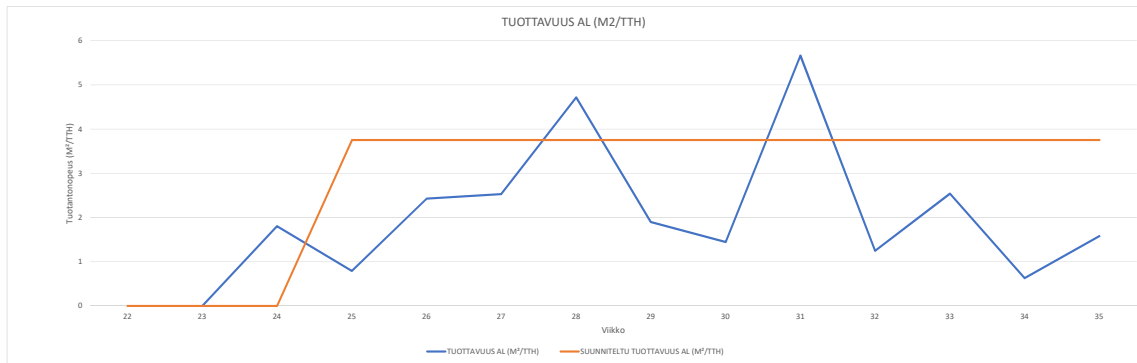
Sähkönokka esitti, että lohkojaosta johtuen kerroksissa olevien ryhmäkeskusten rajat ovat eri kuin rakennustöiden lohkorajat. Tämä aiheuttaa hänen mukaansa häntä lohkorajojen ulkopuolelle jäävien asennusten muodossa, eli koko ryhmäkeskukseen kuuluvia töitä ei saada tehtyä kerralla loppuun (H6). Kyseiset työt tehdään seuraavaan lohkoon kuuluvien töiden yhteydessä. Toteumassa on kuitenkin aikataulusuunnittelun mukainen aluejako, joten asia ei näy aikataulussa keskeneräisenä.

3.4.5 Asennuslattiatyöt

Tässä kappaleessa esitellään hypoteesien testaamiseksi asetetuista määreistä kerätty tieto asennuslattiatöihin liittyen.

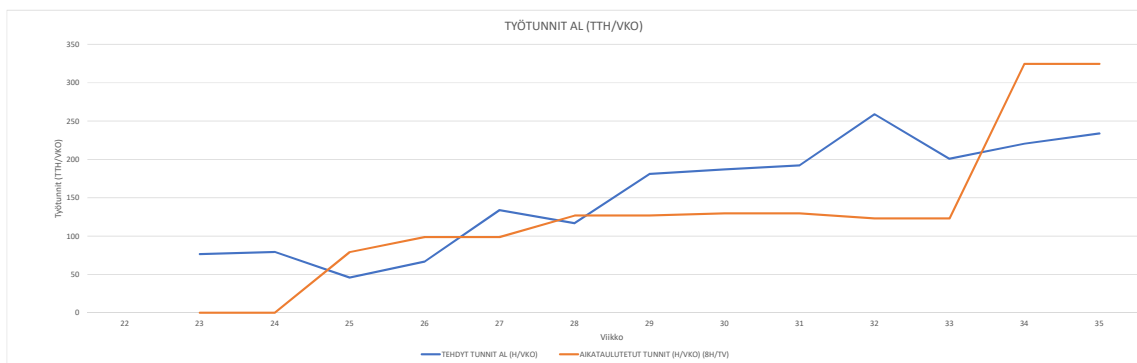
Tuottavuus, työtunnit viikoittain ja resurssimäärät

Kuvassa 43 esitetään havainnoitu tuottavuus sekä urakoitsijan ilmoittaman arvion mukaisesti aikataulutettu tuottavuus. Tuottavuus perustuu toteumaan sekä työntekijärekisteristä saatuun tuntimäärään. Kyseisellä aliurakoitsijalla ei seurannan aikana ollut muualla rakennuksessa työvaiheita käynnissä, eli kaikki tunnit on käytetty toteumassa seurattujen töiden edistämiseen. Tuottavuus kasvoi alun hitauden jälkeen noin kahden kuukauden ajaksi, jonka jälkeen seurannan loppuvaiheessa se putosi jälleen. Tuottavuudessa näkyy myös kaksi piikkiä viikoilla 28 ja 31. Toteutunut tuottavuus ei kuitenkaan vastannut suunniteltua tuotantonopeutta, eli työvaiheen toteuttaminen vaati odotettua enemmän panostunteja.



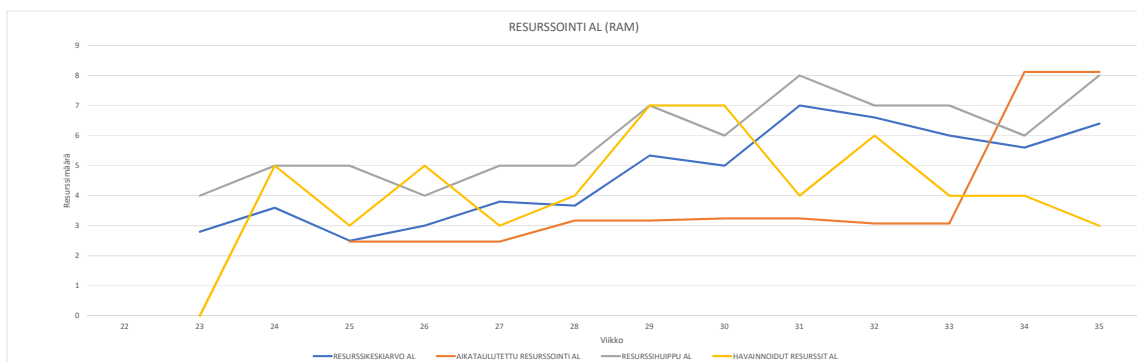
Kuva 43 Asennuslattiatöiden tuottavuus.

Kuvassa 44 esitetään urakoitsijan tekemät työtunnit verrattuna aikataulutettuihin työtunteihin. Työtunnit vastasivat suurinpiirtein suunniteltua. Seurannan loppua kohti työntekijäkisterikirjauksissa näkyy lisääntynyt ylitöiden määrä.



Kuva 44 Asennuslattiaurakoitsijan työtunnit viikoittain.

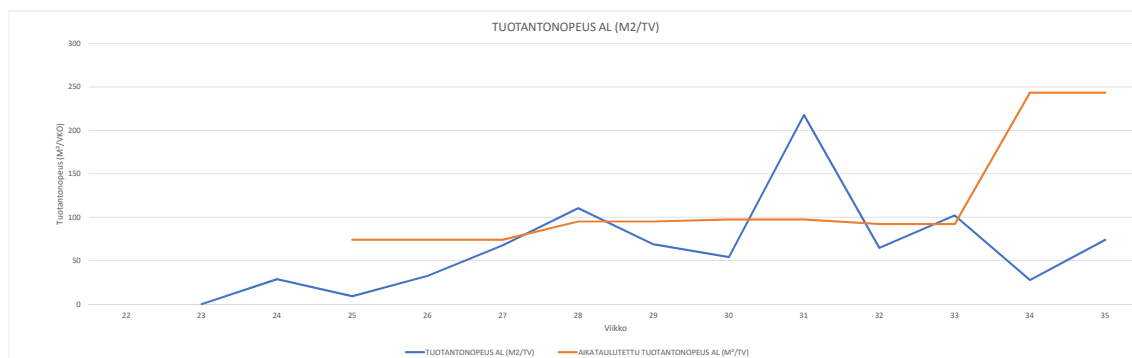
Kuvassa 45 esitetään kulunvalvontatiedosta saatu resurssimäärä viikoittaisena resurssihuipuna, resurssikeskiarvona sekä havainnoinnin pohjalta saatu resurssimäärä. Kuvassa on myös esitetty laskentamäärien, urakoitsijan arvioiman tuotantonpeuden ja aikataulun pohjalta saatu aikataulutettu resurssointi. Sovittu tavoitteellinen resurssointi on dokumenteista päätellen kuitenkin suurempi - noin 7 asentajaa käynnissä olevaa lohkoa kohti.



Kuva 45 Asennuslattiaurakoitsijan resurssimäärät viikoittain.

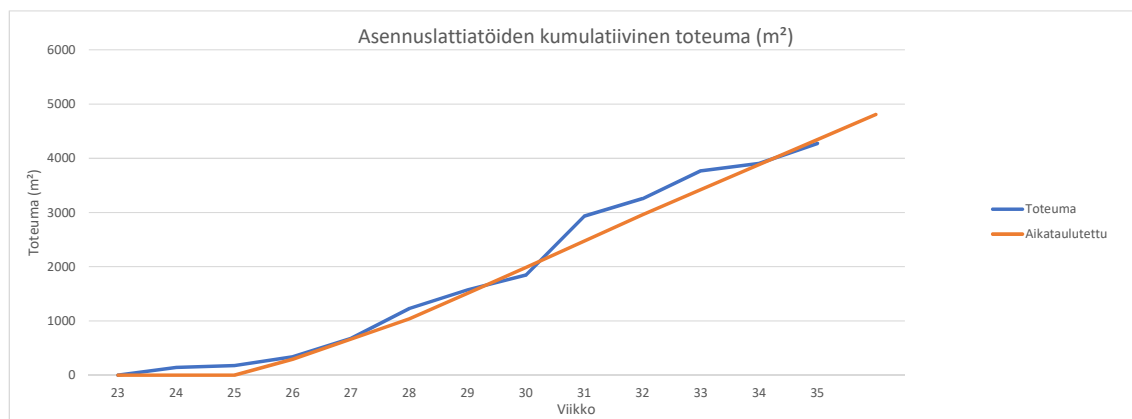
Tuotantonopeus työvuorokahti

Kuvassa 46 esitetään toteutunut tuotantonopeus työvuorokahti sekä aikataulutettu tuotantonopeus määrien ja töille varattujen työvuorojen perusteella. Tuotantonopeudessa nähdään työvaiheen alussa hidas aloitus ja lopussa toisen lohkon töiden suunnitellun käynnistymisen yhteydessä tuotantonopeuden hidastuminen. Lisäksi nähdään viikolla 31 piikki tuotantonopeudessa.



Kuva 46 Asennuslattiatöiden tuotantonopeus työvuorokahti.

Kuvassa 47 on esitetty asennuslattiatöiden kumulatiivinen toteuma verrattuna suunniteltuun. Kumulatiivisesta toteumasta päätellen urakoitsija pysyi suunnitellussa tuotantonopeudessa, mutta koska urakoitsija painotti suurien massojen tekemistä ja jätti häntä myöhemmäksi sekä toimi suurilta osin kahdessa kerroksessa kerrallaan, tehtävät eivät valmistuneet aikataulun mukaan.



Kuva 47 Asennuslattiatöiden kumulatiivinen toteuma.

Esteet tai häiriöt ja niiden syyt

Esteet ja häiriöt perustuvat asennuslattiatöiden urakkavalvojan ja asennuslattiaurakoitsijan kanssa käytyihin haastatteluihin (H2, H4). Löydetty esteet, häiriöt ja ongelmat työmaalla:

- **Resurssit/tuottavuus** – Asennuslattiatöiden tuottavuus oli suunniteltua heikompi, mikä aiheutti ongelmia tavoitellun tuotantonopeuden saavuttamisessa. Asennuslattiaurakoitsija oli ilmoittamansa mukaan suunnitellut tuottavuudeksi noin 30 neliötä

päivässä per asentaja, ja seurannan mukaan saavutettiin keskiarvona noin 18 neliön per päivä per asentaja tuotantonopeus (1 päivä = 8 tth). Haastatteluissa PJU:n edustajat puhuivat kuitenkin ainoastaan resurssipulasta. Urakoitsija esitti tuottavuuden olevan ennustettua heikompi, mutta että työt kuitenkin sujuivat ilman häiriöitä. Tästä voidaan päätellä, että suunniteltu tuottavuus oli vain liian suuri. Tällä kuitenkin saattoi olla vaikutusta aliurakoitsijan motivaatioihin, eli kykyyn tai haluun tuoda resursseja. Asennuslattiatöiden työnjohtajan mukaan kesälomat ja sairastumiset aiheuttivat poissaoloja, minkä lisäksi hänen mukaansa työntekijöitä on luvannut tulla töihin, mutta eivät ole tulleet. (H4) PJU:n urakkavalvojan mukaan ongelma huomattiin aikaisin, ja urakoitsijaa pyydettiin useasti lisäämään resursseja. Lupaukset lisäyksistä eivät kuitenkaan toteutuneet. (H2)

- **Aukkojen reunojen rakenne** – Suunnitelmat eivät ole olleet valmiita kerroksissa olevien reunarakenteiden suhteen. Aukkojen reuna-alueet jäivät tekemättä ja urakoitsija joutui palaamaan niihin myöhemmin. Suunnitelmien ja hankinnan sovitus tuotantoon aiheutti lohkolle suunniteltujen töiden järjestyksen ja sisällön muuttumisen.
- **Muuraukset ja väliseinät** – Muuraukset ja väliseinät eivät olleet suunnitellusti valmiita asennuslattiaurakoitsijan edetessä, mikä aiheutti häntiä. Töiden yhteensovitus ei ollut yhden pääurakoitsijan työnjohtajan alla, mikä aiheutti yhteensovituksessa ongelmia. Asennuslattiaurakasta vastaavalla urakkavalvojalla ei ole ollut tietoa tai vastuuta muurauksen kulusta.
- **Ikkunapenkit** – Ikkunapenkit eivät olleet ARK-suunnitelmien mukaisissa koroissa. Valettujen seinien toleranssi oli liian iso, ja asia ei näkynyt asennuslattiadetaljissa. Tämän takia ei pystytty asentamaan tavallista asennuslattiaa, mikä hidasti töitä C-lohkon 2. kerroksessa. Myöhemmin päätettiin valaa ikkunapenkkien kohdat, jotta asennuslattiaurakoitsijan työt eivät hidastuisi. Huomattu asennuslattiatöiden alussa, kun asennuslattiaurakoitsija tarkisti korkoja.
- **Materiaalitoimitukset** – Aloituksessa oli ongelmia, koska materiaalitoimitukset eivät tulleet suunniteltuun aloitukseen. Suunnitelmissa oli tullut muutoksia asennuslattiamateriaaleissa. Materiaalit tilattiin 8 viikkoa ennen aloitusta, mutta toimitus venyi 10-11 viikkoon. Suunnitelmien suhteen ei saatu päätöstä tarpeeksi ajoissa. Materiaalitoimitusten puute näkyi kaksi viikkoa asennuslattiatöiden aloituksesta hidastuneena tuotantonopeutena.
- **Mestän siisteys** – P1 -pölyluokasta johtuen mesta siivotaan ennen asennuslattiaurakoitsijaa. Tavaraa on ollut mestalla tiellä työvaiheen aloituksessa, mutta asiasta on ilmoitettu ja tavarat on siivottu. Siivous ehdittiin tehdä ennen kuin tavarat olivat tiellä.
- **Asennuslattian jalkojen ja alapuolisten sähkötöiden yhteensovitus** – Asennuslattiaurakoitsija merkkasi jalkojen paikat ja linjat. Sähkömies ja asennuslattiaurakoitsija ovat sopineet yhdessä asennustavasta. Yhteensovitusasia huomattiin PJU:n

puolelta tehtäväsuunnitelmaa tehdessä. Työvaihetta tehdessä pistorasioita oli satunnaisesti tiellä, mutta asia ei vaikuttanut asennuslattiatöihin.

- **Pölynsuojaus** – Asennuslattiaurakoitsija tekee pölynsuojauksen asennuslattiatöiden edetessä, mikä on ”ylimääräinen” työvaihe asennuslattiaurakoitsijalle. Asiasta jouduttiin huomauttamaan, mutta vasta töiden valmistuttua nähdään pölynsuojauksen taso.
- **Materiaalien siirto** – Asennuslattiaurakoitsija oli vastuussa materiaalien siirrosta kerroksiin. Ramppi alimakille aiheutti ongelmia urakoitsijalle, koska se oli pois käytöstä satunnaisesti julkisivutöiden takia, ja joskus liian heikko materiaalien siirtoon. Urakoitsija kuitenkin ilmoitti rampin heikkoudesta PJU:n työnjohdolle, ja asia korjattiin. Päivittäisellä yhteensovituksella oli tarkoitus varata tarpeeksi materiaalia mestalle, jotta työt voivat jatkua alimakin ollessa poissa käytöstä. Aliurakoitsija on ilmoittanut kuitenkin materiaalipuutteista siitä huolimatta, että rampin poistumisesta on ilmoitettu. Asennuslattiaurakoitsija esitti tämän olleen kuitenkin vain vähäinen ongelma.
- **Asennuslattioiden jalkojen pohjien tasoitus** – Aliurakoitsija merkkasi jalkojen linjojen merkkauksen yhteydessä tasoitettavat paikat. Asennuslattiaurakoitsija teki itse tasoitukset, koska materiaalipuutteiden takia itse asennustyön aloitus hidastui. Urakoitsijan sopimuksessa oli optio pohjien tasoitukseen, mutta aikatauluongelmien takia olisi ollut parempi, että joku muu olisi tehnyt ne etukäteen ja materiaalitoimitukset olisivat tulleet ajallaan.

Urakoitsijan varaama tila

Toteumasta nähdään, että asennuslattiaurakoitsija edisti töitä noin kahdessa kerroksessa kerrallaan. Kerroksissa 3 ja 5 jäätiin seuraavan urakoitsijan tielle. Havainnoinnissa kirjattiin urakoitsijan tehneen viikolle 28 asti 2. kerrosta, jonka jälkeen se alkoi tekemään töitä useammassa kerroksessa kerrallaan. Havainnoinnin perusteella voidaan sanoa urakoitsijan varanneen viikosta 28 lähtien noin kahdesta kerroksesta alueita, ja pahimmillaan seuraavan kerroksen töiden aloitusten tai edellisen lopetusten yhteydessä työskenneltiin kolmessa kerroksessa samaan aikaan (viikot 30 ja 35). Toteumassa näkyvät hännät ovat yleisesti reuna-alueita, jotka eivät haittaa heti seuraavaa työvaihetta. Häntien jättäminen aiheuttaa kuitenkin turhaa liikkumista takaisin aiempiin kerroksiin.

Urakoitsijan aiheuttamat viivästykset seuraavalle

Urakoitsija ei saanut kerroksia aikataulun mukaisesti valmiiksi, mutta vaikutukset seuraaviin urakoitsijoihin vaihtelivat. Asennuslattiatöistä seuraavat työvaiheet olivat alakattoon tehtäviä, mikä edellytti lattian olevan valmis, jotta siihen voidaan ajaa henkilönostin tai pystyttää telineet. Lattiarakennetta pystytettiin käyttämään seuraavan työn alustana, jos se oli seuraavan työn työpisteen alla ja kulkureitillä valmis. Asennuslattiaurakoitsija teki massamaisesti töitä, asentaen kokonaisten palojen alueet ensin. Palojen leikkausta vaativat reuna-alueet jäivät myöhemmäksi. Reuna-alueet ovat hitaampia asentaa, mutta niiden puuttuminen ei kuitenkaan estä lattiarakenteen päällä töiden tekemistä. Toteumassa keltaisella merkityissä asennuslattiatöiden vaiheissa seuraava urakoitsija ei olisi kuitenkaan pystynyt

tekemään töitä alueella. Tällaisia esteitä oli viikoilla 30 ja 31 kerroksessa 3 sekä viikoilla 34 ja 35 kerroksessa 5.

Tuotannon jatkuvuus

Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtajan esityksen mukaan asennuslattiatöitä tehtiin “niin nopeasti kuin pystyttiin” työnjohtajan varmistuessa materiaalit, työkalut ja osat työntekijöille sekä ohjeistaen suunnitelmien suhteen. Asennuslattiaurakoitsija teki töitä siellä missä niitä pystyi tekemään, niin pitkälle kuin niitä pystyi tekemään. Yksikköhintainen maksuperuste kannustaa yleisesti tekemään suuria massoja niin nopeasti kuin pystyy.

Asennuslattiatyöt oli tahdistava työvaihe ja riippui eniten alapuolisista sähkötöistä. Alun materiaalitoimitusongelmien jälkeen työt eivät keskeytyneet. Reuna-alueilla olleet kohdat (aukkojen reunarakenne ja muuraukset), joista puuttui edellytykset tehdä, jätettiin tekemättä. Nämä ja reunoihin jätetyt hännät aiheuttivat palaamisen työvaiheeseen myöhemmin projektissa tässä työssä seuratus ajan ulkopuolella. Kuvassa 48 näkyy seuraavien työvaiheiden alkaneen kolmannessa kerroksessa viikolla 33, vaikka toteuman mukaan kerros oli vain 90% valmis. Lisäksi kuvassa näkyy aukkojen reunarakenne, jonka puuttuminen esti töiden tekemisen loppuun.



Kuva 48 Kuva kolmannesta kerroksesta viikon 33 maanantaina.

3.5 Kokemuksia käytännöistä

Haastatellut henkilöt esittivät kokemuksiaan uusista menetelmistä sekä vanhojen menetelmien toimivuudesta projektinohjauksessa. Tässä osassa esitellään haastatteluissa esille tulleita kokemuksia tuotannonohjausmenetelmien vaikutuksesta tuotantoon.

Yleisaikataulu

Tavallisesti on totuttu, että yleisaikataulu on tehty, ja tuotannon tulee vain seurata sitä. Aikataulusuunnittelun rutiini tulisi saada toimimaan, jotta tuotannonohjaus parantuisi. (H7)

Pelkästään yleisaikataulun perusteella sopimusten tekeminen on vaarallista, pitäisi saada tarkempi työsuunnittelu osaksi sopimuksia. (H5)

Yhteistoiminnallisesti suunniteltu ja seurattu vaiheaikataulu

Vaiheaikataulu painostaa työvaiheiden luovutukseen aikataulun mukaan. (H1, H8) Vaiheaikataulussa esitetyt työvaiheiden luovutukset antavat urakkavalvojille impulssin tarkistaa tehtävien valmius tehtävien välillä. (H1)

Haastatellut kokivat viikon välein seuratun yhteisen aikataulun erinomaiseksi työkaluksi. Työmaapäällikön mukaan missään aiemmassa kohteessa ei oltu pystytty näin nopeasti reagoimaan viivästyksiin. (H1) Ilman hyvää ja ajantasaista aikataulua ei olisi kuvaa siitä, missä mennään. Tällainen tilanne oli vielä ennen vaiheaikataulun käyttöönottoa, mikä aiheutti paljon harmia. Selkeällä ja kaikkien osapuolten ymmärtämällä ajantasaisella aikataululla luotiin aiempia työmaita parempi tilannekuva. (H1, H8) Luotettavasta aikataulusta oli hyötyä työsuunnittelussa. (H2, H4, H6, H8, H9) Sähkötöiden asiantuntija käytti esimerkkinä sähkötöitä: sähkötyöt ovat yleensä viimeinen työvaihe, ja tavallisessa aikataulutuksessa kaikki lopun puskurit käytetään, jolloin sähkötöille ja niiden testauksille ei jää enää aikaa. Tämä ajatus sai asiantuntijan kannustamaan työmaata yhteisen tahtiaikataulutuksen käyttöönottoon, varmistaakseen riittävän ajan loppuvaiheen töille. (H8) Kaikki haastateltavat suosittelevat yhteistoiminnallisen vaiheaikataulutuksen jatkamista tulevilla projekteilla.

Vaiheaikataulutuspäivästä tulisi olla fasilitoijana pätevä ja työmaahan tutustunut, mutta neutraali osapuoli, jotta vältetään työmaan sisäisten konfliktien aiheuttamat ennakkosetelmät. Esimerkiksi juuri aliurakoitsijalle reklamoinut työmaainsinööri ei ole paras luottamuksen herättäjä. Neutraali fasilitoija pystyy kyseenalaistamaan niin PJU:n kuin urakoitsijoiden esitykset sekä esittämään ”tyhmiä” kysymyksiä tehtävistä. (H7)

Sähkönokka esitti, että vaiheaikataulu oli hyvä asennuslattiatoihin asti, mutta sen jälkeen mikään tehtävä ei enää pitänyt paikkaansa. Hänen mielestään aikataulua tulisi päivittää, jotta pystytään valmistautumaan ajoissa tuleviin tehtäviin resurssoinnin ja materiaalitilauksen osalta. Hän koki, että vaiheaikataulun kanssa tehty työ meni hukkaan, koska PJU ei pystynyt pitämään aikataulua. Hänen esityksensä mukaan tulisi tuoda avoimesti esiin, jos aikataulu jää jälkeen jostain syystä. Kun aikataulusta jäädytään, palataan vanhaan malliin: ”kamat ovesta sisään ja tehdään kun pystytään”. (H6)

Vaiheaikataulua tehdessä ensimmäiset palaverit toivat vastoin käymisiä, eivätkä ne onnistuneet odotusten mukaan. Alustavien suunnitelmien mukaisesti aikataulutetut työt eivät mahduneet vaiheeseen, ja urakoitsijoiden kanssa ei saatu aikataulua aikaan. Työmaapäällikön mukaan fasilitoiva henkilö sai ”turpaansa” ensimmäisissä palavereissa uutta aikataulutuskäytäntöä tuodessaan, mutta seuraavilla kerroilla lohkoa pienempiin osiin pilkkomalla ja tarkastelemalla pyrittiin kasvattamaan luottamusta. Alun epäonnistumisten jälkeen vaiheaikataulu saatiin kuitenkin tehtyä, ja aikataulutuskäytännöstä tuli hyvää palautetta kun sen hyödyt huomattiin. (H1, H7)

Tahtiaikataulutus

Viikon tahtiaika sopi haastateltujen mielestä tähän projektiin. Tahtialuejaot olivat niin isoja,

että niiden sisällä pystyttiin sovittamaan töitä yhteen. Kerros voitiin jakaa esimerkiksi useaan osaan, toisen urakoitsijan aloittaessa toisella ja toisen jatkaessa toisella osalla. Näitä yhteensovituksia pystyttiin sopimaan haastattelujen aamupalaverissa. (H5) Urakoitsijan esityksen mukaan jos he pääsevät tekemään viikoksi tahtialueelle töitä, on paras tilanne. Välillä jouduttiin tekemään päällekkäin. (H8) Tahtialuejako oli hyvä: sen lisäksi, että jaettiin lohkot kerroksiin, jaettiin kerrokset vielä sen sisällä oleviin alueisiin. Jaottelu meni tarkemmaksi, mutta ei menettänyt selkeyttään. Tahtialuejako oli todella toimiva. (H9) Seuratuissa työvaiheissa tahtialue oli kuitenkin koko kerroksen kokoinen, eli kokemukset liittyivät muihin työvaiheisiin. Viikon tahti toimi haastattelujen mukaan hyvin toimitilapuolella, koska alueet eivät toistu niin selkeästi. Liian pieni jako tekee työmaapäällikön mukaan työnjohdon vaikeaksi, on liikaa naruja käsissä. (H1) Viikon tahtiajalla pystytään antamaan urakoitsijalle vastuu, jossa se pystyy tekemään kuten haluaa. (H9) Päivän tahtiaika voisi olla mahdollinen, mutta vaatisi paljon toimihenkilöresursseja. (H1)

Työmaahenkilöstö käytti alapuolisia sähkötöitä esimerkkinä aikataulun tiivistymisestä yhteisen aikataulutuksen avulla: sähköurakoitsija oli vaiheaikataulusuunnittelun alussa halunnut varata yhdeksän viikkoa yhden kerroksen alapuolisille sähkötoille. Aluejaon ja yhteisen aikataulun tarkastelun seurauksena sähköurakoitsija pystyi lupautumaan tekemään kerroksen työt kahden viikon sisällä. (H1, H7, H8) Toteumasta nähdään töiden onnistuneen hyvin alle kahdessa viikossa.

Asennuslattiatöiden työnjohtaja ei kokenut saavansa niin paljon hyötyä tahtiaikataulusta, sillä hänen mukaansa he voivat vain tehdä omaan tahtiin lattiatöitä siellä missä niitä pääsee tekemään. Työnjohtajan mukaan he tekivät ”niska limassa” töitä. Saneerauskohteissa he ovat kuitenkin tehneet huoneiston kerrallaan valmiiksi ja luovuttaneet seuraavalle. (H4)

Tahtiaikataulu nimenä aiheutti vastustusta projektin henkilöstössä. Sisävaiheaikatauluksi kutsuminen oli muutaman haastatellun mielestä parempi vaihtoehto. (H3, H8)

Viikkosuunnittelu

Työmaapäällikön esityksen mukaan viikkosuunnittelu on pitkään ja useassa yrityksessä käytössä ollut järjestelmä, joka on kehittynyt ja muuttunut. Hän esittää, että viikkosuunnittelussa on menty karkeammalle tasolle, kun ennen on voitu suunnitella töitä jopa työryhmätasolle. Hän kuitenkin seuraa viikkosuunnitelmia viikottaisissa palavereissa. Hänen esityksensä mukaan päivätasolle viedyllä työnsuunnittelulla ei ollut niin suurta merkitystä kuin vaiheaikataululla. (H1)

Viikkosuunnitelmien edellytyksiä ei varmisteta kuten kuuluisi. (H1) Viikkosuunnitelmien taso vaihteli huomattavasti työnjohtajien välillä, ja vain osalla ne vaikuttivat urakoitsijan kanssa tehtävään työnsuunnitteluun. (H1, H3) Työvaiheiden edellytykset tarkistettiin niiden vaihtuessa toiseen, mutta urakoitsija ja urakkavalvoja saattoivat myös vaihtua. Työmaa käytti luovutuksissa Dalux-ohjelmistoa. (H1) Urakkavalvoja esitti töiden suunnittelun olevan hankalaa, koska edellytysten varmistamiseen koko parin viikon ketjulta ei ole aikaa. (H4)

Viikkosuunnitteluun kuuluvan toteuman seurannan ja viisi-miksi-analyysin tekoon ei ollut

aikaa urakoitsijalaverin jälkeen. (H3) Urakkavalvojan mielestä on vaikea arvioida töiden toteutumista. (H4) Lupauksia seurattiin vaiheikataulutoteuman avulla. (H1)

Aamupalaveri

Työmaapäällikön mukaan aamupalaverikäytäntö on ollut aiemmillaakin työmailla, mutta ei joka päivä. (H1) Aikatauluinsinöörin mukaan harvemmalla työmaalla on aamupalaveri, johon kaikki nokkamiehet osallistuvat. (H3) Aamupalaveriin osallistuivat lähtökohtaisesti kaikilta urakoitsijoilta edustaja, eli käytäntö oli tullut käyttöön hyvin. (H5) PJU:n edustajat esittivät aamupalaverin olevan hyvä käytäntö, joka tuo tilannekuvan kaikille ja auttaa poistamaan esteitä päivän töiltä. Aluevastaavan mukaan aamupalaveri oli vaiheikataulun ohella tärkein uusi käytäntö, koska sen avulla pystyttiin varmistamaan esteiden poistoa. Hänen mukaansa on tavallista, että mestarit ovat ”tuuliajolla”, eli odottavat aliurakoitsijalta ilmoitusta esteistä, ja aamupalaverilla pystyttiin tuomaan ongelmat etukäteen esille. (H5) Aamupalaverin pystyy toteuttamaan vain jos työmaalla on hyvä tilannekuva, eli tiedetään mistä puhutaan. (H5)

Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtaja ei kokenut aamupalaverikäytäntöä hyödylliseksi, vaan ilmoitti mieluummin ongelmista suoraan urakkavalvojalle. (H4) Hän kuitenkin osallistui aamupalaveriinkin säännöllisesti. Hän esitti, että on ilmoittanut ongelmia aamupalaverissa, mutta niitä ei ole kuitenkaan hoidettu.

Sähkönokan esityksen mukaan aamupalaverikäytäntö on turha, koska hän tekee itse töiden yhteensovituksen suoraan muiden aliurakoitsijoiden tai urakkavalvojen kanssa. Hänen mukaansa valtaosa tiedosta kulkee kuitenkin työmaalla. Hänen mukaansa sähkötyöt ovat hyvin riippuvaisia muista töistä, ja he itse katsovat edellytyksiä omille töilleen ja ilmoittavat puutteista suoraan. Sähkönokka ei suosittele aamupalaverikäytäntöä. Hänen mukaansa heidän työt alkavat jo noin kello kuudelta ja kello seitsemän aamupalaveri keskeyttää hänen työn, eikä siellä saatu tietoa enää vaikuta jaettuihin töihin. Hänen mukaansa aamupalaveri koskee enemmän urakoitsijoita, jotka tulevat kysymään, että ”mitä tänään tehdään?”. (H6) Sähkönokka kuitenkin osallistui suurimpaan osaan aamupalavereista.

Yhteistoiminnallisuus yleensä

Yleisesti aliurakoitsijat lähtivät mukaan käytäntöihin, kun he kokivat saavansa hyötyä käytetystä ajasta. Vaiheikataulutusta koettiin hyvänä käytäntönä alun ongelmien jälkeen, kun aliurakoitsijat näkivät sen tuomat hyödyt.

PJU:n työnjohto koki asennuslattiaurakoitsijan ”vanhan liiton” urakoitsijana, joka tekee työt kun niitä on ja katsoo ongelmia niiden ilmetessä. Asenteen esitettiin olevan kohtuullisen hyvä, mutta tulevan työn suunnittelun jäävän paljolti PJU:n oman työnjohdon vastuulle. Sähköurakoitsijalla taas koettiin olevan aktiivisempi ote tuotannonsuunnitteluun, mikä kiteytyi nuoreen ja aktiiviseen nokkamieheen.

Työmaapäällikkö koki työmaan yhteistoiminnallisen otteen mahdollistavan pienemmän kynnysen ottaa yhteyttä PJU:hun ongelmien ilmetessä. Hän myös esitti, että yhteistoiminnallisten käytäntöjen mahdollistama muiden aliurakoitsijoiden tunteminen parantaa työmaan henkeä, eikä toisten syyttelyä tule niin helposti. Hän esitti, että kun toisen tuntee, ei voi enää heittää kasvottomia tärppejä, vaan vieressä istuu kaveri, jolle tulisi tehdä työvai-

he valmiiksi. (H1) Sähkönokka esitti, että palavereissa tulisi pystyä nostamaan ongelmat esille, ja että projektin palavereissa joskus ongelmista puhuminen menee muilla “ihon alle”. Tämä johtui hänen mukaansa vanhoista juurtuneista käytännöistä, joissa ohitetaan vastuu ja lupaillaan asioiden hoitamista. Hänen mukaansa nuoremmat tekijät puhuvat asioista, eivät ihmisistä, toisin kuin vanhemmat tekijät.

Aliurakoitsijoita yleisesti ärsytti eniten, kun luvattiin jotain, mutta ei pysytty sanojen takana. Asioiden, joita ei kuitenkaan saada toteutettua, lupaaminen oli vahingollista.

3.6 Yhteenveto tuloksista

Tapaustutkimuksen työmaan tuotannonohjauskäytännöt ja ilmapiiri olivat tavallista paremmalla tasolla. Työmaalla tehtiin LBMS-menetelmän mukainen yleisaikataulu välitavoitteiden löytämiseksi. Lyhyen tähtäimen tuotannonsuunnittelu painottui LPS:n sekä myös Kalifornian mallin mukaiseen tahtisuunnitteluun kuuluvaan yhteistoiminnalliseen vaiheaikataulun luontiin, käyttäen pohjana viikon tahtiaikaa. Seuratuissa työvaiheissa eräkoon pienentämisestä kolmeen tahtialueeseen mahdollisesti saatavat hyödyt tyhjän tilan tavallista paremmasta käytöstä eivät toteutuneet, koska työvaiheet suunniteltiin tehtäväksi ja tehtiin koko kerroksessa kerrallaan. Haastatellut kuitenkin esittivät koko kerroksen kerrallaan tekemisen sopivan seuratuille työvaiheille.

Yhteistoiminnallisen tuotannonsuunnittelun hyödyiksi koettiin tarkka etukäteistieto tehtävien aloituksista, sisällöistä ja edellytyksistä. Sähköurakoitsija piti erityisesti hyödyllisenä tehtävien aloitusten pysymistä suunnitellussa sekä koko tilan aktiivista varaamista heidän työvaiheelle suunnitellulle aikavälille. Asennuslattiaurakoitsija ei kokenut tahtiajattelun mukaisesta tilan ja ajan varaamista heidän työvaiheelleen hyödylliseksi, koska he tekivät itseohjautuvasti “mahdollisimman nopeasti” massamaisia neliöitä siellä missä pystyivät. Yhteisen aikataulun tuoma tieto omista vaikutuksista seuraaville tehtäville vaikutti kuitenkin ohjaavan asennuslattioiden tuotantoa: heidän tuotannossa näkyi pyrkimys tehdä edellytykset seuraavalle valmiiksi. Lisäksi kumpikaan urakoitsijoista ei vaikuttanut syyttävän PJU:ta suurista heidän työhön vaikuttavista puutteista ja vetoavan tähän, vaan ajattelu keskittyi enemmänkin tehtävien saattamiseen valmiiksi muita urakoitsijoita varten. Syntyneeseen haluun saattaa tehtävät valmiiksi muita varten ja asenteisiin yleensä vaikuttivat kuitenkin negatiivisesti erityisesti tilanteet, jossa urakoitsijat olivat ilmoittaneet esteistä, mutta PJU oli epäonnistunut tekemään ne valmiiksi.

Esitettyihin menetelmiin verrattuna suurimmat puutteet olivat tuotannonohjauksessa suunnittelun sijaan: miten varmistetaan tehtävien edellytykset lyhyellä tähtäimellä, nähdäänkö tulevia ongelmia ja miten tilannekuva vastaa tarpeeseen tietää mitä seuraavaksi tehdään. Kun vaiheaikataulu jäi jälkeen, aliurakoitsijoilla ei ollut enää tietoa milloin heidän tulisi aloittaa seuraavat työvaiheet. Vaiheaikataulun jäädessä jälkeen palattiin tavalliseen erikseen sopimisen ja ylhäältä käsin ohjailun malliin. Tuotanto ei toteutunut suurimmilta osin täsmälleen vaiheaikataulussa sovitun mukaisesti, eli sen ulkopuolisella sopimisella oli suuri vaikutus tuotannon kulkuun. Kuitenkaan LPS:n mukaista yhteistoiminnallista tarkentuvaa suunnittelua ei tehty, eli tässä mielessä lyhyen tähtäimen ohjaus palasi vanhaan toimintatapaan. Viikkosuunnittelu ei ollut yhteistoiminnallista kaikkien kesken, eikä sitä tehty

LPS:n mukaisesti pyytäen “Last Plannerilta” varmistusta tehtävien toteutuskelpoisuudesta, varmistaen näiden edellytykset ja kommunikoiden yhteisesti viikottaista tilannetta. LBMS-menetelmän mukaista analyysiä toteutuneista tuotantonopeuksista ja näiden tarjoamia varoituksia tulevista ongelmista ei käytetty hyödyksi. Lyhyen tähtäimen tuotannonohjausta kuitenkin paransi yhdessä suunnitellun aikataulun tuoma ymmärrys aikataulusta sekä viikottain seuratun vaiheaikataulutoteuman tuoma kaikkien ymmärtämä tilannekuva. Lisäksi joka-aamuiset aamupalaverit paransivat päivittäistä tilanteen ymmärrystä sekä työn edellytysten varmistamista.

Virtauksen ja vaihtelun kannalta tehtävät onnistuivat suhteellisen hyvin. Aloitukset onnistuivat sovitusti ja sähkötyöt pysyivät suunnitellussa pituudessa. Tehtävät valmistuivat tasaisesti sijaintien läpi. Sisävaiheen loppupuolella olleissa tässä seuratuissa tehtävissä ei myöskään havaittu viitteitä kasautuvista viiveistä. Tähän vaikutti tehtävien toteutumisen lyhyt syklinen seuranta ja välitön ongelmiin reagointi: jos jokin tehtävä jäi jälkeen, se huomattiin viikkotasolla ja pystyttiin tekemään ohjaustoimia sekä kommunikoidaan seuraaville tehtäville. Suurin virtaukseen ja vaihteluun vaikuttava asia oli asennuslattiatöiden seuraaviin urakoitsijoihin vaikuttavien osuuksien myöhästyminen sekä asennuslattiatöissä jääneet hännät.

Tuottavuus pysyi tasaisena sähköurakoitsijan töissä, mutta tuotantonopeudessa oli huomattavia piikkejä. Sähköurakoitsija siis teki nopeissa pyrähdyksissä koko kerroksen kerrallaan valmiiksi. Asennuslattiaurakoitsijalla taas näkyi hidas aloitus sekä suunniteltua heikommaksi jäänyt tuottavuus. Asennuslattiaurakoitsija ei kuitenkaan ilmoittanut esteiden tai häiriöiden hidastaneen merkittävästi töitä. Tuottavuuden kannalta jää epäselväksi, aiheuttivatko työmaan olosuhteet heikomman tuottavuuden vai oliko se vain arvioitu väärin ennakkotietojen perusteella.

Häiriöiden aiheuttajista suurimmat olivat edelliset työvaiheet, mestan siisteys sekä materiaalien toimitukset ja varastointi. Hyvän ennakkosuunnittelun ansiosta osapuolet olivat melko hyvin perillä tehtävien sisällöstä, mikä auttoi edellytysten varmistamisessa ja säilyttämisessä. Lisäksi jatkuva tilannekuva sekä aamupalaverit auttoivat erityisesti mestan siivoamisessa valmiiksi ennen töiden aloitusta. Ongelmia aiheuttivat enimmäkseen vaiheaikataulun ulkopuolisten seurattuihin tehtäviin vaikuttavien työvaiheiden puuttellinen valmius. Esimerkiksi julkisivutyöt sekä lasiseinät aiheuttivat asennuslattiatöiden keskeytymisen suunnitellusta reuna-alueilla. Logistiikkaan kiinnitettiin projektissa erityistä huomiota, ja työmaalla varastointi oli pidettävä minimissä. Tällöin jos edellinen työvaihe oli esimerkiksi sähköurakoitsijan tapauksessa myöhästynyt suunnitellusta, ennakkotiedon mukaan tilatut materiaalit jouduttiin varastoimaan muualle, kuin alkavalle mestalle ja siirtämään uudelleen.

Kaikki haastatellut suosittelivat pilotoinnissa ollutta yhteistoiminnallista tahtipohjaista aikataulutusta. KVA-menetelmällä tehty yhteistoiminnallinen tuotannonsuunnittelu koettiin vaativaksi, mutta alun ongelmien jälkeen ja sen onnistumisen jälkeen siitä koettiin saatavan suurta hyötyä. Tuotannonohjaukseen liittyen kokemukset paljastivat lyhyen tähtäimen ohjauksen olevan edelleen sekavaa ja tapahtuvan työnjohdon sekä urakoitsijoiden

tottumusten sekä luonteen mukaisesti. Viikottain seurattu vaiheaikataulu oli haastattelujen mukaan tärkein käytössä ollut työkalu tuotannonohjaukseen, eli viikkosuunnittelulla ei ollut suurta merkitystä päätöksenteossa. Toisaalta suurimmat ongelmat olivat juuri aliurakoitsijoiden ilmoituksen mukaan tilannetiedossa vaiheaikataulun jäädessä, eli “mitä tehdään seuraavaksi?” sekä edellytysten varmistamisessa puutteiden ilmoittamisesta huolimatta. Aamupalaveri koettiin PJU:n puolelta erittäin hyödylliseksi, mutta nokkamiehen ja aliurakoitsijan työnjohtajan mielestä turhaksi. Tämä tuo esiin tilannekuvan tärkeyden: aliurakoitsija haluaa tietää, missä se tekee töitä seuraavaksi ja ovatko edellytykset kunnossa ja PJU haluaa tietoon näitä edellytyksiä aliurakoitsijalta.

4 Empiria II: Kokemukset menetelmien käyttöönotosta ja yrityksen prosessista

Empirian toisessa osuudessa käsitellään viimeistä tutkimuskysymystä, eli pyritään selvittämään kokemuksia menetelmien käytöstä osana tuotannonohjausta sekä löytämään käyttöönoton mahdollistajia ja esteitä. Tässä osuudessa selvitetään menetelmien käytön nykytilaa sekä menetelmiä käyttöön ottaneiden ja kehittäneiden henkilöiden kokemuksia menetelmistä ja niiden käyttöönotosta.

4.1 Tutkimuskohteet

Empirian toista osaa varten haastateltiin ensimmäisen osan projektilta ensimmäisen osan haastattelujen yhteydessä osaa henkilöistä, verrokkikohteesta työmaan käytännöistä vastaavaa aluevastaavaa sekä yrityksen sisältä LPS:n ja tahtituotannon kehityksen kanssa työskennelleitä. Verrokkikohteena menetelmien käytölle toimi lähellä sijainnut Kaikukatu 6 -toimistokohde, joka vastasi luonteeltaan ensimmäistä tapauskohdetta: kyseessä oli toimitilahanke, jossa rakennettiin vastaavanlaisia toimistotiloja. Verrokkiprojekti oli kooltaan hieman pienempi: noin 12 000 kerrosneliötä verrattuna Kaupunkiympäristötalon 40 000 kerrosneliöön. Verrokkihaastattelulla oli tarkoitus saada kuva ”tavallisen” projektin tuotannonohjauskäytännöistä, jota verrataan yhteistoiminnallisuuteen panostavaan pilottikohteeseen.

4.2 Tutkimusmenetelmä, aineiston keruu ja tiedon analysointi

Toisen osan tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää edellytyksiä menetelmien käytölle, joten siihen liittyen pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytettiin ensimmäistä osaa vastaavia teemahaastatteluja. Haastattelut tehtiin harkinnanvaraisella otannalla sopivaksi katsotuista henkilöistä. Lisäksi verrokkiprojektin haastattelun löydöksiä varmistettiin dokumenttianalyysillä kohteen projektipankista ja yrityksen käytäntöjä selvitettiin tutkimalla tarjottuja koulutuksia yrityksen sisäisestä verkosta.

Toisen osan haastattelujen tiedot esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6 Haastattelujen tiedot empirian toiseen osaan liittyen.

Nro	Pvm	Työnkuva	Kesto	Aihe
H0	18.6.	Aluevastaava (Verrokki)	1h	Nykytila, 3
H1	28.8.	Työmaapäällikkö	1h21min	3
H3	5.9.	Aikatauluinsinööri	59min	3
H4	9.9.	Asennuslattiaurakoitsijan työnjohtaja	45min	3
H5	11.9.	Aluevastaava	1h42min	3
H7	23.9.	Kehitysinsinööri (Tahtikouluttaja/fasilitoija)	1h8min	3, 4
H9	2.10.	Talotekniikka-asiantuntija (Sähkötyöt)	1h2min	3
H10	4.10.	Työpäällikkö (Prosessia kehittänyt)	1h9min	3, 4

Haastattelujen pohjana käytettiin liitteessä A esitettyä haastattelurunkoa. Aihe ”Nykytila” käsittelee tuotannonohjauksen käytäntöjä ja sitä vastaa haastattelurungon kohta 2.1.i. Aihe 3 käsittelee menetelmien osien käyttöönottoa organisaatiossa ja sitä vastaa haastattelurungon kohta 3.1. Aihe 4 käsittelee prosessiajattelua yrityksessä ja sitä vastaavat haastattelurungon kohdat 3.2 ja 4.1. Kaupunkiympäristötalon työmaatoimihenkilöiltä kysyttiin empirian osassa yksi suositeltaviksi todettuihin menetelmiin liittyen vinkkejä niiden käyttöönottoon. Lisäksi työmaatoimihenkilöiltä kysyttiin prosessin merkityksestä heidän työssään. Prosessin ja sen osien kehityksestä vastaavilta kysyttiin prosessin merkityksestä yrityksessä ja mahdollisista poluista hyvien käytäntöjen levittämiseen.

Haastattelutuloksia analysoitiin vastaavasti kuin empirian ensimmäisessä osassa. Hypoteeseihin 5 ja 6 vastataan haastatteluiden perusteella, eikä niihin vastaamiseksi valita erillisiä määreitä.

4.3 Yrityksen toimintatapa pohjana menetelmien käytölle

Yrityksessä on käytössä koko yritykselle yhteinen toimintatapa, jota kutsutaan ’Skanskan tavaksi toimia’. Toimintajärjestelmän kuvauksessa esitetään toimintatavan koostuvan prosessikuvauksista, viiteaineistoista ja työkaluista. Rakentamisen prosessissa on kolme vaihetta: tuotannon valmistelu, tuotanto ja luovutus. Työmaatuotanto tapahtuu pääosin tuotanto-vaiheen mukaisesti, missä prosessin osa alkaa käynnistyspäätöksestä ja päättyy luovutusvaiheen suunnitelmaan. Prosessikuvaus esittää lähinnä asiakkuuden hallinnan, kustannushallinnan ja hankinnan liittymisen ’tuotannon johtamiseen ja ajalliseen hallintaan’.

Tähän työhön liittyvät toimintatavat ovat kaikki prosessissa ’tuotannon johtaminen ja ajallinen hallinta’ -osan sisällä. Osalla on vielä oma prosessikaavio, jossa esitetään vastuut ja tehtävät tuotannon suunnittelussa ja hallinnassa. Kaavion mukaisesti työmaalla tulee laatia vaiheaikataulu, pitää mestari- sekä urakoitsijapalaverit sekä eri tavoin valvoa aikataulujen ja suunnitelmien toteutumista. Lisäksi prosessikaavion yhteydessä suositellaan hyödyntämään urakoitsijoiden ja asiantuntijoiden ammattitaitoa aikataulutuksessa sekä jatkuvasti parantamaan tuotannonsuunnittelun laatua viisi-miksi-analyysillä häiriöistä.

Merkittävässä osassa tuotannonohjausjärjestelmää on myös tuotantotehtävää valvovan ja johtavan työnjohtajan vastuulla oleva tehtäväsuunnitelma, jossa tarkoituksena on saada työnjohtaja suunnittelemaan kyseisen tehtävän tuotanto etukäteen. Työnjohtajan tulee prosessin mukaan tutustua tehtävän sisältöön kustannusten, sopimusten sekä suunnitelmien osalta. Lisäksi tulee tunnistaa laadulliset tai taloudelliset riskit tehtävässä. Tehtäväsuunnitelmassa lasketaan määrät suunnitelmien pohjalta, ja pyritään tämän pohjalta varmistamaan resurssien ja kapasiteetin riittävyys sekä tekemään tarkka kustannuslaskelma.

Prosessiesittelyn mukaan keskiössä tuotannon valvonnassa ja ohjauksessa on yleisaikataulu, joka ”luo raamit tuotannolle ja toimii samalla pohjana suunnittelu- ja aikataululle, hankinta-aikataululle ja tarkentuvalle aikataulusuunnittelulle”. Yleisaikataulu luodaan ja optimoidaan paikka-aikasuunnittelulla LBMS-menetelmän mukaisesti, käyttäen sille luotua Control - Vico Schedule Planner -ohjelmistoa. Toimintaohjeessa esitetään yleisai-

kataulun olevan yksi tärkeimmistä työmaan valvonnan kohteista ja että toiminta tulisi säätää yleisaikataulun mukaisesti eikä toisinpäin. Ohjeen mukaan aikataulun toteumaa tulee päivittää ja seurata työmaa-aikana.

Kaikille näille vaiheille on tarjolla yrityksen järjestelmässä, usein excel- tai word-pohjaiset, mallipohjat sekä lyhyt esitys ajatuksesta niiden taustalla, joiden avulla työmaan henkilöstön tulisi toteuttaa järjestelmää omassa päivittäisessä työssään. Tuotannonohjausprosessin vieminen työmaalle perustuu paljolti mallipohjien ja työkalujen tarjoamiseen sekä toimintajärjestelmien osien täyttämisen seuraamiseen linjajohdon tekemissä seurantapalaverissa. Työmaita pisteytetään johdon seurannoissa esimerkiksi työturvallisuusasioiden, talouden ja tuottavuustyökalujen käytön pohjalta. Tuottavuuteen liittyen työmaa saa pisteitä toimintajärjestelmän mukaisesti toimimisesta, esimerkiksi aikataulun laadusta ja valvonnasta, tehtäväsuunnitelmien teosta, viikkorutiinista ja KVA-palaverien pitämisestä.

4.4 Tuotannonohjaus verrokkiprojektissa

Tuotannonohjaus verrokkiprojektissa vastaa kirjoittajan kokemuksia tavallisesta työmaasta: työmaamestarit olivat tuotannonohjauksen keskiössä, mutta toimivat enimmäkseen irrallaan toisistaan. Aikatauluna käytettiin yleisaikataulusta tarkemmalle tasolle vietyä vaihe aikataulua, jota ei kuitenkaan tehty systemaattisesti kaikkien aliurakoitsijoiden kesken, vaan lähinnä pääurakoitsijan oman työnjohdon kesken. Kriittisille tai vaikeille työvaiheille aikataulutusta mietittiin tarkemmin, mutta vain työvaiheisiin liittyvien aliurakoitsijoiden ja työnjohtajien kanssa. Viikkosuunnittelu ei ollut verrokkiprojektissakaan LPS-menetelmän mukainen, eli sitä ei tehty "Last Plannerien" kanssa eikä tehtävien edellytyksiä varmistettu. Viikkosuunnitelma toimivat muistilistana tehtävistä, ja sen tarkoituksena oli pitää resurssit kiireisenä. Myöskään tässä projektissa tehtävien toteutumista tai juurisyitä ei seurattu. Kuvassa 49 esitetään lean-käytäntöjen käyttöasteen mittaamiseksi kehitetty PBP-indeksi verrokkiprojektilla.

Tuotannonohjauskäytäntö	Toteutus	Huomio
Suunnittelu- ja ohjausprosessin formalisointi	K	Y3-prosessi
Lyhyen aikavälin tapaamisten vakioiminen	O	Urakoitsijapalaveria ei ole, käydään yksittäin urakoitsijoiden kanssa. Mestari palaveri on.
Visuaalisten työkalujen käyttö informaation esittämiseen	E	
PPC:n seuraaminen ja viisi-miksi -analyysi toimineen	E	Tehtävien toteutumista ei seurata.
Datan kriittinen analyysi	O	Yleisaikataulutoteuma, liitteroiden seuranta, ei vakioitua datapohjaista
Työpakettien oikea määrittely	K	
Yleisaikataulun systemaattinen päivittäminen	K	Toteuma päivitetään
Keskittämisen suunnittelun standardoiminen	K	Vaihe aikataulusuunnittelu ja seuranta kahden viikon välein
Vain työn edellytykset täyttävien tehtävien ottaminen viikko aikatauluun	E	Viikko aikataulukäytäntö vaihtelee huomattavasti, ei LPS:n mukainen
Työntekijöiden mukaan ottaminen lyhyen tähtäimen suunnitteluun	O	Aamupalaverit: esteitä ja yleisiä asioita. Ei velvoitetta ilmoittaa.
Fyysisten virtausten suunnittelu ja ohjaus	K	Logistiikkasuunnittelu, erillinen logistiikkaurakoitsija
Indikaattoreiden käyttö aikataulun toteutumisen seurantaan	O	Toteumalla päivitetty jana-aikataulu seinällä
Työn esteiden aktiivinen poistaminen	O	Toteutus vaihtelee, vaikka esteitä etsittäisiin ja löydetäisiin etukäteen
Ymmärrettävän yleisaikataulun käyttö	O	Planet-ohjelmistolla tehty jana-aikataulu
Varamestojen suunnittelu	O	Työnjohtajat vastaavat omista töistään ja suunnittelevat "päässään".
Kokonaispisteet	8,5 / 15	

Pisteytys: K = kokonaan käytössä (1p), O = osittain käytössä (0,5p), E = ei käytössä (0p)

Kuva 49 Verrokkiprojektin PBP-indeksi.

Projektilla pidettiin päivittäiset aamupalaverit, johon osallistuvat oma työnjohto, omat työntekijät sekä aliurakoitsijoiden nokkamiehet. Aamupalaverissa käytiin läpi työnjohdon akuuteiksi kokemia asioita, kuten materiaalitöimituksia, valutoita, kulkureittejä ja alkavia työvaiheita. Aamupalaverissa ei kuitenkaan pyydetty aliurakoitsijoilta ilmoitusta, vaan "sana oli vapaa". Lisäksi maanantaisin aamupalaveri oli laajennettu, ja siellä käytiin viikon tulevat työt kaikkien kanssa läpi.

Tilannekuva perustui työnjohdon sisäiseen kommunikointiin, sekä seinällä olleeseen vaiheen jana-aikatauluun. Aikataulua seurattiin ja päivitettiin kahden viikon välein ja siihen tehtiin pääurakoitsijan työnjohdon merkintöjä. Jana-aikataulu oli tarkin aikataulu ja tilannekuva työmaalla.

Mestaripalaverit pidettiin yrityksen käytännön mukaisesti viikoittain, ja siellä verrattiin työnjohdon viikkosuunnitelmaa vaiheaikatauluun sekä suunniteltiin työnjohdon kesken tulevia töitä. Urakoitsijapalaveria ei pidetty projektilla, koska sen koettiin hukkaavan aliurakoitsijoiden aikaa. Aliurakoitsijoiden töihin liittyviä palavereita pidettiin erikseen urakoitsijakohtaisesti.

Työvaiheiden etenemisen seuranta ja tulevan työn varmistaminen perustui työvaiheesta vastaavan työnohtajan ja aliurakoitsijan väliseen kommunikointiin. Aikataulusta jäämiseen reagoitiin reklamoimalla ja tilanteen katsomisella yhdessä aliurakoitsijan kanssa, ja aliurakoitsija reagoi työn edellytysten loppumiseen ilmoittamalla esteistä suullisesti ja kirjallisesti, esimerkiksi whatsappilla ja sähköpostilla. Aluevastaavan mukaan jos ”sukset olivat ristissä ja aikataulu myöhässä” aliurakoitsijat ilmoittivat esteistä herkemmin. Suurimpia syitä tehtävän jäämiselle aikataulusta ilmoitettiin olevan aliurakoitsijoiden resurssipuute, ristiin menevät työvaiheet sekä suunnitelmapuutteiden takia keskeytyvät tehtävät. Kyseiset syyt aiheuttivat ongelmia, koska ne huomattiin vasta työvaihetta aloittaessa tai kesken työvaiheen.

Suurimpana erona tässä projektissa Kaupunkiympäristöotaloon on yhteistoiminnallisesti suunnitellun vaiheaikataulun puuttuminen. Yhteistyössä tehdyn aikataulun puuttuminen pirstaloittaa tuotannonohjausta. Lisäksi vaikuttaa, että tehtävien edellytysten varmistaminen ei tapahdu tavallisesti järjestelmällisesti.

4.5 Hyvien käytäntöjen levittäminen

Tässä kappaleessa käsitellään Kaupunkiympäristöotaloprojektissa tehdyissä haastatteluissa esiin tulleita asioita hyvien käytäntöjen levittämisestä.

Kysyttäessä vinkeistä muille yhteistoiminnallisuutta käyttöön ottaville työmaapäällikö vastasi: ”jos ovat samanlaisia idiootteja kuin minä, turha lähteä opastamaan”. (H1) Aluevastaavan esityksen mukaan ei kannata vaatia kaikilta vakioitua prosessia, vaan selkeytetyt hyvät käytännöt voitaisiin mieluummin levittää hyvien kokemusten kautta. Hänen mukaansa kun kaikki oppivat käytännöt, pystytään keskittymään asiaan. (H5) Uusien menetelmien käyttöönotto vaatii innostusta niitä vastaanottavalta työmaaporukalta. On hyvin työmaasta riippuvaa, minkälainen porukka siellä on. ”Yksinäiset sudet”, yksittäiset henkilöt voivat muuttaa täysin työmaan ilmapiirin. (H1, H5, H7) Nuoret ovat innokaampia ottamaan uusia käytäntöjä vastaan. (H5) Käytäntöjen levittäminen vaatii hyviä kokemuksia samaistuttavalta henkilöltä, kuten toiselta vastaavalta työnohtajalta. Uusia käytäntöjä tuodessa on hyvä, jos niitä esittelevä henkilö on ennestään tuttu ja esimerkiksi samasta yrityksestä. (H5, H7)

Työmaan hyvän hengen luominen on työmaapäällikön mukaan hyvin monimutkainen asia, eikä siihen ole olemassa vastausta. Työmaan hengen pystyy hänen mukaansa kuitenkin

aistimaan heti. Luottamus ja avoimuus ovat olennaisessa osassa tuotannon onnistumisesta. Kaupunkiympäristötalolla pyrittiin hyvän hengen luontiin luomalla aliurakoitsijoille tunne siitä, että heitä tarvitaan. Esimerkiksi perehdytyksen yhteydessä tarjottiin kahvit ja urakoitsijan työntekijästä vastaava työnjohtaja tuli ottamaan työntekijän henkilökohtaisesti vastaan perehdytyksestä. Lisäksi Kaupunkiympäristötalolla oli työturvallisuuskilpailu, josta palkittiin paras urakoitsija yhteisessä tilaisuudessa tasaisin väliajoin. (H1)

Aikataulutus nähtiin “yhteisenä pakkona”, joten siihen mukaan ottaminen ei vaatinut suurempia ponnisteluja. (H8) Olennaista oli, että projektinjohto teki pohjatyön hyvin, ja aliurakoitsijoille syntyi luottamus pääurakoitsijan sitoutumisesta aikataulun läpivientiin. (H7, H8) Fasilitoijan mukaan työmaita menee hyvin ilman KVA:takin, koska tavallisestikin työnjohtajat kaivavat tietoa aliurakoitsijoilta ja sovittavat töitä. Isommassa projektissa yhteistoiminta ja sitoutuminen olivat tärkeämpiä. Kun saatiin aikataulu, joka jotenkin pitää, aliurakoitsijat alkoivat kysyä seuraavista aikataulutuspalavereista. (H7)

Tuotannon aikataulutuksen täytyy lähteä vastaavan mestarin ja työnjohdon kiinnostuksesta. Aluevastaavan esityksen mukaan vastaavana työnjohtajana hän olisi “mielipuolisen kiinnostunut” aikataulusta ja sen toteutumisesta. (H5) Toisaalta tuotannon aikataulutus vaatii suunnittelun ja hankinnan saamista vastaamaan tuotannon tarpeita. Tuotannon aikataulutus on suunnittelun ja hankinnan kanssa muna-kana-ongelma: tuotanto tarvitsee suunnittelut ja hankinnat ajoissa, mutta suunnittelunohjaus ja hankinta tarvitsevat tietoonsa tuotannon tarpeet. (H7) Lisäksi työnjohtajan tulee itse olla tehtävän tasalla ja miettiä mitä hänen pitää tehdä, jotta tehtävät toteutuvat. Urakoitsijoiden suurimmat pettymykset syntyivät, kun projektin työnjohto ei varmistanut töiden edellytyksiä vaikka puutteista olisi ilmoitettu. “Mestari ei voi olla joojoo-mies, vaan hänen tulisi oikeasti tarkistaa työn edellytykset.” (H5)

Kehitysinsinöörin mielestä aikataulutusasioihin tulee saada rutiini. Hänen mukaansa usein KVA otetaan vasta lopussa ja liian myöhään käyttöön, kun tulee kiire ja tarve. Kaupunkiympäristötalossakin yhteinen vaiheaikataulu otettiin käyttöön pakon edessä, koska rakennettavaa massaa oli huomattava määrä ja aikataulu tiukka. KVA saattaa olla viimeinen oljenkorsi, ja ennakkosuunnittelun tärkeys unohtuu. Ajatellaan, että kerran suunniteltu pitää. (H7)

Fasilitoijan mukaan KVA:n fasilitointiin riitti, kunhan tiesi mitä oltiin vetämässä ja osasi olla ihmisten kanssa. Hän oli käynyt hieman fasilitointikoulutusta. Yhden KVA-palaverin pitäminen ei hänen mukaansa riitä, vaan aikataulutus vaatii aikaa ja toistoja. KVA-palaveri on hänen mukaansa tiedon jakamista tekijöiden välillä. Hänen mukaansa pitää saada luotua jotain uutta ja parempaa, avata keskusteluyhteys ja nittoa kokonaisuus yhteen. (H7)

4.6 Prosessin merkitys työmaatoimihenkilöille

Useimmat tiesivät prosessin olevan olemassa, mutta eivät olleet tarkemmin tutustuneet siihen. Suurin osa vastasi tuntevansa prosessin asteella kolme asteikolla yhdestä viiteen. Verrokkikohteen aluevastaava tarkisti prosessista vastuunjakoja, mutta muut eivät käyttäneet prosessikuvausta työssään. Projektien koettiin olevan niin erikokoisia ja -luonteisia, ettei prosessi sellaisenaan sovi kaikkiin niistä. Esimerkiksi Kaupunkiympäristötalo oli niin suuri

projekti, ettei prosessissa nimettyjä vastuuta voitu käyttää siinä. Toisaalta pienemmällä työmaalla ei taas voi pitää kaikkia prosessissa esitettyjä palavereja. (H1) Jos on prosessi, jota ei pysty sellaisenaan käyttämään, osat siitä jäävät väistämättä pois ja työmaa tekee projektinjohtoa parhaaksi katsomallaan tavalla. (H3) Ratkaisuksi ehdotettiin eri vaatimustasoja eri kokoisille projekteille, esimerkiksi projektin arvon mukaan 20 miljoonan välein. (H1)

Työmaapäällikkö toivoi, ettei prosessissa mentäisi tiukkaan sääntelyyn, sillä se tappaa motivaation ja luovuuden. Kaupunkiympäristötalossa uusien työkalujen, kuten virtuaalipehdytyksen, 360-kuvauksen ja dronejen käyttö toi lisämotivaatiota. (H1) Aluevastaavan mukaan ei kannata vaatia kaikilta vakioitua prosessia. (H5) Työmaapäällikkö koki pystyvänsä vaikuttamaan yrityksen toimintatapoihin ja prosessiin, koska on niin kokenut. (H1)

4.7 Prosessin merkitys yrityksessä ja kehittäminen

Prosessin merkitykseen yrityksessä saatiin kokemuksia vain kahdelta haastatellulta, joten nämä ajatukset edustavat lähinnä näiden kahden prosessin parissa työskennelleen avainhenkilön kokemuksia.

Kehitysinsinööri/fasilitoija koki prosessin olevan olennainen osa toiminnan tehokkuuden kehittämistä. Prosessin osia tulisi hänen mukaansa kouluttaa ja viedä eteenpäin, ja kaikkien tulisi tietää, mikä on yrityksen tapa toimia. Hän koki prosessin olevan melko hyvä, koska yritys tekee erilaisia projekteja ”Stadikasta peruskerrostaloihin”, mikä estää universaalien ratkaisujen tekemistä. Hänen mukaansa prosessi kiteytyy ihmisiin, jotka ovat projekteja tekemässä ja sen olevan loppupeleissä johtajuuskysymys. Perustasoja ja tavoitteita tulisi selkeyttää ja ihmisiä kouluttaa niiden mukaisiin menetelmiin. (H7) Vastaavanlaisia kokemuksia esitti prosessia kehittämässä ollut työpäällikkö, jonka mukaan prosessi on tärkeä, mutta yrityksessä tulisi muistaa mitä prosessi tarkoittaa: miten se vaikuttaa ihmisten päivittäiseen työhön ja millä tasolla toimintaa määrätään. Hänen mukaansa jos tehdään monimutkaisia prosesseja parhaiden käytäntöjen mukaan, kukaan ei välttämättä lue niitä. ”Ei voi kirjoittaa maailmanmestari-jalkapallojoukkueen pelitapaa ja vaatia tätä.” (H10)

Työpäällikkö esitti, että toiminta riippuu ihmisistä ja on olemassa erilaisia ihmistyyppejä, jotka tekevät luonnostaan asioita eri tavoilla. Tiettyyn menetelmään pakotettu prosessi ei välttämättä ole hänen mukaansa luonnollinen kaikille ihmistyypeille, eivätkä he ota sitä käyttöön. Toiset saattavat luonnostaan taulukoida tietoa työvaiheesta tehtäväsuunnitelmaan, mutta toiset tekevät mieluummin suunnittelun ihmisten kanssa. LPS-menetelmän mukainen prosessi saattaa hänen mukaansa sopia insinöörimäiselle ihmistyyppille, joka luonnostaan haluaa laskea ja varmistaa asiat etukäteen. (H10)

Prosessin ohjeistusta tulisi molempien mukaan selkeyttää. (H7, H10) Molemmat tukivat ehdotusta, että eri yksiköille ja eri kokoisille projekteille tulisi olla omat selkeät vaatimukset hoidettavista asioista ja yksinkertainen ohjeistus siitä miten ne tehdään. Työpäällikkö esitti, että roolitukseen projektin sisällä tulisi olla ohjeistus. Prosessin ei tarvitse hänen mukaansa välttämättä olla joustava, mutta taso, jolla menetelmiä määrätään tulisi ehkä olla kaikille

sopiva. Menetelmien ohjeistukseen tarvitaan hänen mukaansa konkretiaa: “käytä näitä työkaluja ja tee nämä tietyt asiat.” (H10)

Lisäksi työpäällikkö esitti, että menetelmiä tulisi kouluttaa osallistaen. Hänen mukaansa kaikille on varmasti selvää esimerkiksi ennakosuunnittelun tärkeys, mutta lisätyö saattaa aiheuttaa vastustusta, vaikka jälkikäteen huomattaisiinkin menetelmien olleen hyödyllisiä. Pelkästään tiedolla tulevasta hyödystä menetelmät eivät hänen mukaansa jalkaudu, vaan niitä pitää osittain ehkä pakottaa käyttöön. Ohjeistuksen menetelmien käyttöön tulisi olla helposti saatavilla, visuaalista ja selkeätä. (H10) Tämä on samankaltainen havainto, kuin kirjallisuudessa on havaittu käyttöönottoon liittyen.

Olenmaisessa osassa työpäällikön mukaan on myös toimihenkilöresurssointi vaadittujen käytäntöjen toteuttamiseksi: “ollaanko valmiita maksamaan ja näkemään vaiva fasilitoijien löytämiseksi?” (H10) KVA-tilaisuuksien fasilitoiminen saattaa olla haastavaa, jos sitä ei olla ennen tehty. Hyvien kokemustenkin kautta löydettyt käytännöt saattavat jäädä, jos niiden toteuttamiseksi ei löydetä tekijöitä.

4.8 Menetelmiin liittyvät koulutukset yrityksessä

Kirjoittamisen hetkellä yrityksessä tarjottiin aiheeseen liittyvää koulutusta lähinnä yleisaikataulusuunnittelusta Control-ohjelmiston avulla. Työmaapäällikön mukaan yleisaikataulusuunnittelu ja sen laatu ovat olleet keskipisteessä työmaiden koulutuksessa viimeiset vuodet. (H10) Tuottavuuden kehittämisestä vastaava kehitystiimi tarjoaa kuitenkin tukea työkalujen käyttöön ja aikatauluhallintaan ja pyrkii levittämään hyviä käytäntöjä niitä haluaville työmaille.

Esimerkiksi Skanska PRO -koulutustarjonnan sivuilta löytyy aineistot sopimusoikeuteen sekä sopimusten hallintaan, turvalliseen tuotantoon, projektin talouteen, riskienhallintaan, suunnittelunohjaukseen, hankintaan, työsuhteasioihin ja ympäristötehokkuuteen liittyen. Lean-tuotannonohjauksen periaatteisiin tai yrityksen prosessien mukaisten menetelmien käytännön toteutukseen ei löydy koulutusaineistoja.

4.9 Yhteenveto kokemuksista

Yleisesti haastattelujen perusteella vaikutti siltä, että kaikki tuntevat kohtalaisesti yrityksen toimintajärjestelmän, mutta sen ohjeistus ja kuvaus eivät ohjaa toimintaa. Haastatellut eivät toivoneet jätkevää prosessia, mutta kukaan ei myöskään pitänyt tämänhetkistä ohjeistusta kovin hyödyllisenä omassa työssään. Haastatteluissa tuli useita esityksiä erilaisista malleista ohjeistuksen tasolle: esimerkiksi perustasot 20 miljoonan euron välein eri kokoisille projekteille esitettiin vaihtoehtona.

Suurimmalla osalla uusia menetelmiä käyttöönottaneella työmaalla olleista vaikutti olevan innostusta parantaa toimintatapoja ja kokeilla uusia käytäntöjä. Uusia menetelmiä käyttöönottaneella työmaalla oli hyvä ilmapiiri, mikä edesauttoi pyrkimyksiä ottaa uusi menetelmä käyttöön. Menetelmien käyttöönoton avuksi muille työmaille ehdotettiin osallistavaa koulutusta, minkä lisäksi esitettiin KVA-fasilitaattorin saamisen projektille olevan tärkeässä asemassa kyseisen toimintatavan käyttämisessä.

5 Pohdinta ja tulosten arviointi

Tässä tutkimuksessa seurattiin tahtipilottityömaalla kahta työvaihetta hukkan ja virtauksen näkökulmasta, selvitettiin yhteistoiminnallisuuden vaikutus työvaiheiden onnistumiseen sekä tutkittiin tietä leanin levittämiseen organisaatioon tuotannon näkökulmasta. Tavoitteena oli saada kokemus- ja tietopohjainen kuva siitä, mitä työmaatuotannossa tapahtuu ja miten lean-ajattelun mukaisten menetelmien avulla pystytään vaikuttamaan tuotannon edellytyksiin tehdä tehokasta työtä. Työmaatuotanto on kompleksista ja monen tekijän summa: osapuolilla on omat intressinsä ja motivaationsa. Loppujen lopuksi on kyse siitä, kuinka hyvin tuotetta tekevä työntekijä saa edellytykset tehdä työnsä. Yrityksen toimintajärjestelmäksi otettu Last Planner System pyrkii suojaamaan työntekijän työtä, mutta toimintajärjestelmä ei toteudu suunnitellulla tavalla. Tässä työssä otetaan kantaa työkalu- ja prosessipohjaisen ajattelun toteutumiseen tuotannosta vastaavien henkilöiden näkökulmasta: mikä oikeasti ohjaa työskentelyä ja yhteensovittamista työmaalla.

Tässä luvussa esitellään ensin hukka ja virtaus seuratuissa työvaiheissa sekä miten nokkamiesten ja aliurakoitsijoiden osallistaminen vaikutti siihen. Tämän jälkeen esitellään ratkaisuehdotus lean-ajattelun levittämiseen organisaatiossa. Lisäksi arvioidaan tutkimuksen kontribuutiota tieteellisestä ja kohdeyrityksen näkökulmasta sekä tutkimuksen reliabiliteettia ja validiteettia.

5.1 Virtaus, vaihtelu, häiriöt ja hukka seuratuissa työvaiheissa

Virtausta ja vaihtelua verrataan esiteltyihin määritelmiin ideaalitilanteesta sekä aiempiin löydöksiin vaihtelusta. Häiriöitä ja hukkaa käsitellään tuotannon seitsemän esivaatimuksen sekä kirjallisuuskatsauksen pohjalta määriteltyjen virtauksen hukkatyyppien kautta.

5.1.1 Virtaus

Hyvä virtaus rakennustuotannossa koostuu hyvistä tuotteen ja työn virtauksista. Täydellinen virtaus on tasaista ja intensiivistä. Seuraavaksi tapauskohteen virtauksia verrataan Sacksin (2016) määritelmään täydellisestä virtauksesta:

1. Tuotteen virtaus (prosessit, F)

- 1.1. **Tuotannon tasapaino: läpimenoajan ero (valmistuneet sijainnit per aika) eri sijaintien välillä tulee olla nolla.** - Luodussa tahtiaikataulussa sijaintien valmistuminen suunniteltiin tasaiseksi: valmistuvan määrän oli tarkoitus olla melko vakio viikoittain. Alapuoliset sähkötyöt valmistuivat noin kahden viikon tasaisissa sykleissä. Asennuslattiatöissä oli enemmän vaihtelua, mutta tahtipohjainen viikon tarkkuuteen tehty aikataulu painosti tasaiseen luovutukseen seuraavien töiden alkaessa.
- 1.2. **Eräkoko: työntekijän tai työryhmän varaamien alueiden määrä on yksi.** - Aikataulun mukaan alapuolisten sähkötyöiden ja asennuslattiatöiden tuli varata kerros kerrallaan. Tämä on tahtijakoa suurempi eräkoko, eli koko kerros

yhdistettiin samaan tahtiin. Kummatkin työvaiheet ovat kuitenkin tällä toteutustavalla luonteeltaan sellaisia, että ne estävät muiden työvaiheiden tekoa samalla alueella, vaikka ne jaettaisiin pienempiin osiin. Toteumassa sähkötyöt varasivat kerroksen kerrallaan, eli suunnitellusti ja asennuslattiatyöt noin kaksi kerrosta kerrallaan, eli suunniteltua enemmän.

- 1.3. **Aikapuskureiden määrä tehtävien välillä tulee olla nolla.** - Vaiheaikataulukuksessa poistettiin tavallisesti epävarmuutta vähentämään tarkoitettut aikapuskurit työvaiheiden väliltä, ja asetettiin tiettyjen työvaiheiden välille varmasti käytettävää puskuria. Aikataulua saatiin tiukemmaksi tarpeettomia puskureita vähentämällä. Alapuoliset sähkötyöt venyivät suunniteltuun puskuriin, mutta luovutus seuraavalle onnistui aikataulun mukaan. Asennuslattiatyöt venyivät ja häiritsivät seuraavia työvaiheita.
- 1.4. **Tehtävien muunnosten määrä tulee olla mahdollisessa minimissään.** - Suunnitelmat määrasivät tuotteen, ja tehtäväsuunnittelulla ja työpakettien jaolla määritettiin tuotteen valmistamiseksi tehtävät työvaiheet. Tämä tutkimus ei ota kantaa suunnittelun ja hankinnan pohjalta tehtyihin työpakettien jakoihin tai sisältöihin.
- 1.5. **Työ tehdään kerralla loppuun, työryhmä ei palaa sijaintiin.** - Työn tekeminen kerralla loppuun onnistui alapuolisissa sähkötöissä. Joskin ryhmäkeskusten rajojen eroaminen aluejaosta jättää sähköurakoitsijalle luonnollisen työsisällön vajaaksi. Asennuslattiatöissä jäi huomattava määriä häntiä, jotka täytyy tulla tekemään myöhemmin loppuun.
- 1.6. **Työtä ei korjata tai tehdä uudelleen.** - Alapuolisissa sähkötöissä syntyi uudelleen tehtävää työtä rikkoutumisten ja asennuslattiatöiden yhteensovituksen takia. Sähkötöissä uudelleen tehtävän työtä oli rikkoutumisista johtuen tarpeettoman paljon. Asennuslattiatyöt olivat selkeämpiä, ja lattia ei rikkoutu. Myöskään virheitä ei havaittu kummassakaan työvaiheessa.
- 1.7. **Virtaus on luotettava: vain tehtävissä olevat tehtävät päästetään tuotantoon.** - Tehtävien edellytykset varmistettiin työvaiheiden välisen luovutuksen yhteydessä, ja luovutuksen määräsi tahtiaikataulu. Tilannekuvan ansiosta pystyttiin vähentämään making do -aloituksia. LPS-menetelmän mukainen viikkosuunnittelu ja työn suojaus ei kuitenkaan toteutunut, vaan virtauksen luotettavuuteen vaikutti vaiheaikataulusta saatu tilannekuva ja sen perusteella tehtävä töiden yhteensovitus.
- 1.8. **Keskeneräisten alueiden määrä vastaa työryhmien määrää. Work in progress (WIP)-puskuri on nolla.** - Tilapuskureiden määrää vähennettiin tahtiajattelun mukaisella aikataulutuksella, ja työtä oli suunnitelman mukaan tarkoitus edistää jatkuvasti kaikilla alueilla. Työvaiheen valmistuttua tahtialueella seuraavan työvaiheen oli tarkoitus alkaa välittömästi. Yhteinen vaiheaikataulutus ja tehtävien välinen luovutus mahdollistivat tilapuskureiden vähentämisen.

2. Työn virtaus (operaatiot, T)

- 2.1. **Tasaiset tuotantonopeudet: tehtävän suoritusajan (tuotantonopeus ker-
taa työn määrä) ero työryhmien välillä on nolla.** - Viikon tahtiaikaan pe-
rustuva tuotantonopeuden tahdistus tasasi kaikkien työvaiheiden suunniteltua
tuotantonopeutta. Sähköurakoitsijalla tuotanto ei kuitenkaan ollut tasaista, vaan
se siirtyi tehtävän valmistuttua muualle töihin ja palasi aina tekemään seu-
raavan kerroksen sen alkaessa. Asennuslattiaurakoitsijan tuotantonopeus oli
tasaisempaa, mutta siinä näkyi painotus tehdä massamaisia alueita nopeasti,
jättäen hännät myöhemmäksi.
- 2.2. **Tehtävään käytettävä aika on mahdollisimman pieni. (ei valmistelua tai
tarkistusta, arvoa tuottamaton työ minimissä)** - Tehtävien välissä ei tehty
erillistä tarkastusta, vaan urakoitsijat vastasivat itselleluovutuksen kautta teh-
tävien luovutuksesta. Kaikista tehtävistä tehtiin malliasennukset, mutta sen
jälkeen tarkastuksia ei tehty.

Seuratut työvaiheet suunniteltiin työn ja tuotteen virtausten kannalta hyvin: LBMS-menetelmässä (Kenley ja Seppänen 2010) ajatuksena oleva työn jatkuvuus näkyi työvaiheiden suunnitte-
lussa, mutta toisaalta aikataulua tehtiin myös tilankäytön näkökulmasta tehokkaiksi (vrt.
Faloughi et al. 2015). Virtaus myös toteutui seurattujen tehtävien näkökulmasta virtauksen
mittareilla hyvin: työvaiheet valmistuivat melko tasaisesti.

Tilankäyttöön liittyen sähköurakoitsija teki töitä vain yhdellä alueella kerrallaan, mutta
asennuslattiaurakoitsija teki töitä kahdella tai jopa kolmella alueella kerrallaan. Tahtiperi-
aateen (Frandsen et al. 2013) mukaisesti työt tulisi saattaa täydelliseen valmiuteen ennen
seuraavaan sijaintiin siirtymistä, tai irrottaa seuraavia töitä haittaamattomat työt erillisesti
tehtäväksi, jotta kaikilla on kuva siitä mitä tehdään ja tuotanto etenee tasaisesti.

Tuotantonopeus vaihteli sähköurakoitsijalla huomattavasti, eli se teki pyrähdyksissä kerrok-
set valmiiksi ja siirtyi tekemään muualla olevia töitä. Asennuslattiaurakoitsija taas painotti
massamaisia töitä ja jätti häntä myöhemmäki, mikä aiheutti vaihtelua tuotantonopeudessa.
Virtauksen kannalta olisi ollut ehkä parempi, jos sähköurakoitsija olisi tehnyt töitä tasai-
sesti ja jatkuvasti. Toisaalta myös asennuslattiaurakoitsija olisi voinut keskittyä alueiden
valmiiksi saattamiseen uusien sijaintien avaamisen ja varaamisen sekä massamaisen nopeu-
den tavoittelun sijaan. Tässä nähdään myös urakoitsijan pyrkimys oman palkkioperustan,
eli maksimaalisen yksikkömäärän valmistamiseen lyhyessä ajassa (Freeman ja Seppänen
2014). Sähköurakoitsijan toimintatavan mahdollisti suuret määrät muuta työtä kohteessa,
eli työryhmät pystyivät jatkamaan töitä toisissa sijainneissa.

Suurin virtaukseen vaikuttava asia oli ehkä hyvällä ennakkosuunnittelulla ja aliurakoitsijoi-
den tietotaitoa hyväksikäyttämällä aikaan saatu realistinen vaihe aikataulu, johon tekijät
sitoutuivat (Ballard 2000). Suunniteltu virtaus oli siis kaikille sopiva, ja urakoitsijat pyr-
kivät noudattamaan sitä, kuitenkin optimoiden omaa tuotantoaan annettujen määreiden
sisällä. Koska tavoitteet tuotannon etenemisestä tahtiajan mukaisesti ja sen vaikutus-
ta muille oli kaikille selviä, itselle tilan varaamiseen ja oman tuotannon varmistamiseen
liittyvä käyttäytyminen oli vähäisempää (Sacks ja Harel 2006). Tämä on sosiaaliseen
prosessiin liittyvä parannus, eli LBMS- tai tahtimenetelmiin täytyy yhdistää esimerkiksi

LPS, kuten aiemmissa tutkimuksissa esitetään (Tommelein 2017; Seppänen et al. 2010), jotta suunniteltu parempi virtaus voidaan toteuttaa.

Virtauksesta saatujen tulosten perusteella voidaan esittää, että yhteistoiminnallisesti suunniteltu ja sitoutettu tahtiaikataulu selventää tehtävien sisältöjä, tavoitteita ja rajapintoja. Tehtävien väliset luovutukset ja edellytykset varmistamalla aliurakoitsijat toteuttavat omia tehtäviään enemmän yhteisen suunnitelman mukaan, kuin omia tavoitteitaan optimoiden, mistä syntyy parempi virtaus. Puutteet virtauksessa liittyvät lyhyen tähtäimen suunnittelun epäonnistumiseen (Seppänen et al. 2010; Ballard 2000) ja siitä aiheutuvaan tilannekuvan heikkouteen, tahtialueiden täydellisen valmiuden edellyttämiseen (Frandsen et al. 2013) PJU:n epäonnistumiseen edellytysten varmistamisessa (Priven ja Sacks 2016) sekä erillisten vaiheiden yhteensovitukseen.

5.1.2 Vaihtelu

Tehtävien aloituksissa ja kestoissa olevan vaihtelun vähentämisen esitettiin olevan ehkä tärkein osa tuottavuuden parantamista. Ballesteros-Pérez et al. (2019) esittivät rakennusalan tehtävissä olevan vaihtelua jopa 60% tehtävän kestoista. Seppänen ja Kankainen (2004) havaitsivat samankaltaista vaihtelua: tehtävien aloituksissa oli viivästyksiä jopa viikosta kahteen viikkoon ja lopetuksissa viivästyksiä yleisimmin keskimäärin viikosta kahteen viikkoon. Tässä työssä havaittiin sähköurakoitsijan aloittaneen aina ja asennuslattiaurakoitsijan lähes aina työt sovituna ajankohtana. Sähkötyöt valmistuivat hiukan myöhässä, mennen suunniteltuun puskuriin, mutta pysyivät tuotantonopeuksien ja toteuman valossa suurimmilta osin alle viikon viivästyksissä. Asennuslattiatöissä havaittiin 90% valmiuteen asti tarkasteltuna viikon ja kahden viikon välissä olevia viivästyksiä, ja hännät mukaan ottaen erittäin suuria viivästyksiä. Aiempiin tuloksiin verraten voidaan esittää, että aloitukset onnistuivat tavallista paremmin, mutta lopetuksissa olleen tavanomaista vaihtelua. Urakoitsijan näkökulmasta aloitukset ovat oleellisia, joten tässä mielessä tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus onnistui vastaamaan aliurakoitsijan tarpeisiin.

Puskurointi toteutettiin enemmän tahtiajattelun, kuin LBMS-ajattelun mukaisesti: urakoitsijat sitoutuivat tekemään sovitun tehtävän tahtiajassa, tehtävien väliltä pyrittiin poistamaan ylimääräiset aikapuskurit ja kaikkiin tiloihin suunniteltiin jatkuvasti töitä (Frandsen et al. 2015). Kahden seuratun tehtävän välille kuitenkin jätettiin käytettäväksi suunniteltu aikapuskuri (Kujansuu 2018). Aikapuskureiden näennäisestä poistosta huolimatta myöskään kapasitettipuskurointia ei eksplisiittisesti suunniteltu, eli tahtien kestot perustuivat KVA-palaverissa saatuihin sitoutumisiin. Aliurakoitsijat lupautuivat tekemään työvaiheen tahtiajan sisällä, mutta kuitenkin varamestoja ei erikseen suunniteltu. Tilanne on LBMS- ja tahtimenetelmiin verrattuna mielenkiintoinen: sähköurakoitsijalla oli työvaiheita muuallakin käynnissä, eli heillä työn jatkuvuus pystyttiin takaamaan, mutta asennuslattiaurakoitsijalla ei ollut muita työvaiheita. Asennuslattiatyöt suunniteltiin saatavan tahtiajan sisällä 100% valmiuteen, minkä jälkeen siirrytään suoraan 0% alkavaan seuraavaan kerrokseen. Tämänkaltainen tilanne on vaikea työryhmien tehokkaan käytön kannalta (Seppänen 2014). Urakoitsijat pyrkivät takaamaan jatkuvan työn, mutta ilman varamestaa sen varmistaminen on hankalaa. Ehkä tästäkin syystä asennuslattiatyöt edistyivät useassa kerroksessa kerrallaan suunnitelmista poiketen. Varamestojen suunnittelu näyttäisikin olevan tahtituo-

tannon onnistumisen ja aliurakoitsijoiden motivaatioihin vastaamisen kannalta oleellista, kuten aiemmissa tutkimuksissa on esitetty (Seppänen 2014).

Esitetyn tavallista vähäisemmän aloituksissa olevan vaihtelun mahdollistajana oli kohtuullisen hyvin toteutunut tuotantotehtävän edellytysten (Koskela 2000) varmistaminen. Esimerkiksi Wambeke et al. (2011) esittämää eniten esiintynyttä syytä vaihtelulle, suunnitelmätiedon puuttumista, ei esiintynyt esteissä. Edeltävät tehtävät olivat esteenä seuratuissa tehtävissä vain tapauksissa, jossa oli kyse sisävaiheikautulun ulkopuolelle jääneistä tehtävistä. Tulosten perusteella voidaan ajatella, että selvemmat rajat tehtävien välillä ja tehtävien sisällön ymmärtäminen auttoi varmistamaan tehtävien edellytykset. Edellytysten varmistamiseen liittyvät ongelmat tulivat esiin ainoastaan PJU:n vastuisiin liittyen: puuttellisesta lyhyen tähtäimen ja edellytysten varmistamisen tavasta johtuen PJU ei aina korjannut ilmoitettujakaan vähäisiä esteitä, mutta urakoitsijen välisestä hyvästä yhteistyöstä ja tehtävien välisestä selvästä luovutuksesta johtuen aloitusedellytyksissä ei ilmennyt suuria ongelmia. PJU:n toimintaa paransi aamupalaverit, jossa tuli esiin näitä puutteita, mutta suunnitelmallinen edellytysten varmistaminen oli vajaata. PJU:n toimintaa edellytysten varmistamiseksi olisi voinut parantaa esimerkiksi Social Subcontract -tyylinen (Priven ja Sacks 2016) vastuutus sekä järjestelmä puutteiden ja edellytysten eksplisiittiseksi kirjaamiseksi: nyt edellytysten varmistaminen oli erillisten PJU:n urakkavalvojen muistin varassa.

Yhdessä suunniteltu aikataulu toi varmuutta aliurakoitsijoille, ja he pystyivät sitoutumaan pienempiin puskureihin. Selvät tehtävien väliset rajat ja luovutukset sekä hyvä ennakkosuunnittelu auttoivat varmistamaan tehtävien edellytykset ja näin vähensivät vaihtelua ja paransivat tuotantoa.

5.1.3 Häiriöt

Häiriöiden ja esteiden seurannasta paljastui, että tuottavuus, edeltävät tehtävät ja mesta olivat tärkeimmät puuttuneet edellytykset tehtävien toteutumiselle odotetusti. Lisäksi materiaalien puuttuminen tai suunnitellun varastointitilan puuttuminen vaikutti töihin.

Asennuslattiatyöt olivat tahdistava työvaihe, ja sen toteutumiseen vaikutti huomattavasti suunniteltua heikompi tuottavuus. PJU pyrki parantamaan tilannetta vaatimalla lisäresursseja tuotantonopeuden nostamiseksi. Seppänen et al. (2014) esittävät resurssien lisäämisen olevan tavallisin ohjaustapa tehtävän jäädessä aikataulusta. He kuitenkin esittävät tutkimiensä kohteiden ja ohjauskeinojen vaikutusten perusteella resurssien lisäämisen olevan kuitenkin tehotonta, koska vaikka resursseja lisättäisiin, tuottavuus saattaa laskea ja tehdä kokonaisvaikutuksen heikommaksi. Tämä ei ole myöskään aliurakoitsijan käyttäytymisen kannalta mielekästä, koska työntekijöiden palkkio perustuu tuottavuuteen eikä tuotantonopeuteen.

Asennuslattiaurakoitsija ei vastannut vaadittuun resurssitarpeeseen, vaikka tarve oli huomattu kohtuullisen ajoissa ja aliurakoitsija oli luvannut sekä haastattelujen perusteella sitoutunut saamaan työmaalle enemmän resursseja. PJU huomasi resurssipuutteen ajoissa, mutta pystyi vaikuttamaan resurssimäärään ainoastaan kirimispalaverien ja reklamaatioi-

den avulla. Ensimmäisen kirimispalaverin jälkeen tuotantonopeudessa huomattiin kasvu, koska urakoitsija alkoi tekemään ylitöitä pysyäkseen aikataulussa. Myöhemmin PJU otti toisen urakoitsijan täydentämään resurssivajetta. Resurssilla tuotantonopeuteen vastaaminen on hankalaa rakennusosalalla, koska aliurakointimallista johtuen niiden määrääminen kohteeseen on sopimuskumppanin varassa: PJU pystyy vasta myöhästyttyä ottamaan toisen tekijän tekemään työ loppuun. Tässä tapauksessa aliurakoitsijaa tuskin olisi voinut sitouttaa tai tiedottaa paremmin resurssimääriin liittyen, vaan puute johtui ehkä aliurakoitsijan omista motivaatioista sopimukseen ja tuottavuuteen liittyen (Sacks ja Harel 2006). PJU:n kannalta tässä kohteessa hyvä tilannekuva kuitenkin mahdollisti aikaisen reagoimisen ongelmiin. Tahdistavan työvaiheen jääminen on ongelmallista, varsinkin jos suunniteltu tuotantonopeus ei ole tuottavuuden kannalta järkevästi saavutettavissa (sijaintiin ei voida osoittaa tiettyä määrää enempää työntekijöitä).

Edeltävät työvaiheet aiheuttivat ongelmia molemmille. Sähköurakoitsijan töitä häiritsi sidosvalut, joita ei oltu suunniteltu aikatauluun tai huomattu muuten tarpeeksi ajoissa. Lisäksi sähköurakoitsija esitti muihin työvaiheisiin liittyen edeltävien työvaiheiden, kuten maalausten, valmistumisen vaiheikataulusta myöhässä vaikeuttaneen heidän työtään. Asennuslattiaurakoitsija ei saanut kerroksia tehtyä loppuun, koska tietyissä paikoissa puuttui edeltäviä työvaiheita: aukkojen reunarakenteet ja ulkoseinien rakenteet lohkojen päissä. Edeltävien työvaiheiden puuttumiset olivat enimmäkseen PJU:n syytä siinä mielessä, että ne johtuivat työvaiheista vastaavien työnjohtajien kommunikointiongelmista tai PJU ei ollut tarkistanut tehtävien edellytyksiä vaiheikataulun ulkopuolelta. Ulkoseinärakenteisiin liittyviä töitä ei oltu aikataulutettu yhteisesti tai sovitettu vaiheikatauluun. Edeltävät työvaiheet olivat myös Kalsaasin (2010) tutkimuksessa toiseksi yleisin syy työn keskeyttymiselle. Tutkitussa projektissa tilannekuva ja yhteinen aikataulu mahdollistivat tarkentuvan töiden sovituksen, ja töiden järjestys oli yhdessä sovittu, mikä luultavasti vähensi tehtävien aloittamista ilman edellisten työvaiheiden valmiutta. Ainoastaan vaiheikataulun ulkopuoliset työt keskeyttivät tai aiheuttivat häiriöitä edellytysten puuttumisen muodossa.

Mestän siisteyteen ja edellisen aliurakoitsijoiden tavaroihin liittyen ilmoitettiin ongelmia. Tässä projektissa oli kuitenkin pölyluokasta johtuen erillinen urakoitsija, joka kävi siivoamassa tilat ennen alapuolisten sähkötöiden tai asennuslattioiden alkua. Lisäksi projektilla oli logistiikkaurakoitsija ja tarkkaa suunnittelua sekä säännöksiä materiaalien varastoinnista projektin koosta ja luonteesta johtuen. Yleisesti mestan siisteys ja valmius varmistui aliurakoitsijan ilmoituksella etukäteen joko suoraan urakkavalvojalle tai aamupalaverissa. Työvaihetta aloittaessa tiloissa on ollut roskaa tai muiden tavaroita, mutta ne ehdittiin siivota pois ennen töiden etenemistä. Kalsaasin (2010) tutkimuksessa mestan siisteys oli neljänneksi suurin syy hukalle. Tässä projektissa mestan siisteys ei suoranaisesti estänyt työtä, mutta siihen reagoitiin vasta ilmoituksesta. Työvaiheiden välissä ei ollut luotettavaa puhtaan ja vapaan mestan luovutusta.

Materiaalitoimitukset aiheuttivat odottamattomia ongelmia. Sähköurakoitsijan tapauksessa materiaalityötehtävät tehtiin vaiheikataulun mukaan, mutta siitä jäätyä urakoitsija joutui varastoimaan materiaalit suunnitellun tilan ulkopuolelle ja siirtämään ne työkohteeseen uudelleen. Asennuslattiaurakoitsijan tapauksessa materiaalitoimitukset työmaalle olivat

PJU:n vastuulla, ja suunnitelmien varmistumisesta sekä hankinnan jäämisestä viime tinkaankin johtuen työvaiheen aloituksessa oli noin kahden viikon ajan liian vähän materiaaleja. Lisäksi asennuslattiaurakoitsijan materiaalitoimituksissa oli ongelmia ulkoseinärakenteiden töiden aiheuttaman alimakin käytöstä poistumisen takia. Asennuslattiaurakoitsija ei suunnitellut materiaalin siirtämisiä kerrokseen kovin pitkälle, vaan niitä otettiin kerrokseen nähdyn tarpeen mukaan. Päivän töihin tarvittavat materiaalit oli tarkoitus varata kerrokseen alimakin poistuessa, mutta aliurakoitsija ilmoitti silti materiaalipuutteista. Ehkä logistiikkaurakoitsijan käyttämisen ja logistiikkasuunnittelun ansiosta materiaalipuutteet eivät koskaan keskeyttäneet täysin työntekoa.

Löydetty hukan ja häiriöiden aiheuttajat vastaavat kirjallisuudessa esitettyjä yleisimpiä hukan aiheuttajia. Seuraavaksi käsitellään esiintynyttä hukkaa.

5.1.4 Hukka

Ihmisten tarpeeton liikkuminen

Tässä työssä ei seurattu yksittäisen työntekijän liikkumista. Tehtävien toteutumisesta voidaan kuitenkin päätellä, että tehtäviä tehtiin melko jatkuvasti. Jos edellytykset ovat kunnossa ja tila on varattu urakoitsijalle, sillä on kaikki edellytykset olla siirtymättä pois työpisteeltä. Alapuolisissa sähkötöissä ja asennuslattiatöissä tarvittavat materiaalit pyrittiin varastoimaan kerrokseen työn alettua. Molemmat aliurakoitsijat ilmoittivat tavoitteensa olevan tehdä mahdollisimman paljon massamaista työtä. Tämä tavoite näkyy tehtävien valmistumisessa 90-95% valmiusasteeseen melko tasaisesti.

Lisäksi sähköurakoitsija ilmoitti sähköhyllyjen talloutumisesta, ja asennuslattiatöiden yhteydessä oli hiukan korjauksia, mitkä aiheuttivat palaamisen korjaamaan tehtyä työtä.

Asennuslattiatöissä reuna-alueet ja alueet, joita ei saatu edeltävien työvaiheiden takia tehtyä jäivät joka kerroksessa hänniksi. Urakoitsija ei saanut koko kerrosta valmiiksi missään kerroksessa seuranta-aikana. Tämä aiheuttaa huomattavan määrän liikkumista takaisin viimeistelemään työn. Hännät on huomattu aiemmissakin tutkimuksissa rakennusalan tuotannon ongelmaksi. Näyttäisi siltä, että jostain syystä jos seuraava työvaihe ei edellytä tehtävän täydellistä valmiutta, urakoitsijat tekevät massamaisia töitä ja jättävät hitaamat työt myöhemmäksi. Tahtiajattelun mukaisesti työvaiheet tulisi luovuttaa täydellisessä valmiudessa seuraavalle. Tähän ei kuitenkaan päästy asennuslattiatöiden osalta. Asennuslattiaurakoitsijan resurssipulan takia se yritti saada aloitusedellytyksiä seuraavalle, ja edeltävien työvaiheiden takia se teki ”niin pitkälle kuin pääsi” ja siirtyi tekemään seuraavaa massamaista kerrosta.

Tarpeeton työ

Tässä tutkimuksessa ei havaittu selvää tarpeetonta työtä. Tämä kuitenkin johtuu luultavimmin tutkimusmenetelmästä: jos työntekijöiden ajankäyttöä ja tehtävien sisältöä olisi tutkittu tarkemmin, tähän hukkatyyppiin olisi saatu varma vastaus. Työvaiheet vaikuttivat kuitenkin olevan hyvin määritelty: niille oli tehty tehtäväsuunnittelua, yhteistä suunnittelua aliurakoitsijoiden kanssa ja työvaiheet olivat selkeitä kokonaisuuksia. Alapuoliset asennukset suunniteltiin etukäteen, eli määrät ja sijainnit määritettiin suunnitelmien pohjalta. Asennuslattiatyöt taas olivat hyvin kaksiulotteisia, eli lattiapinta kattaa koko pohjan ja on

siten selkeästi määritelty.

Tehoton työ

Aikaisemmat tutkimukset ehdottavat making do -käyttäytymisestä aiheutuvaa tehotonta työtä rakennusalan päähukaksi. (Koskela et al. 2013) Making do -käyttäytyminen tarkoittaa määritelmällisesti tehtävien aloittamista tai jatkamista ilman kaikkia edellytyksiä. Tässä tutkimuksessa havaittiin making do -käyttäytymistä, koska tehtäviä aloitettiin ilman edellytysten varmistamista. Esteet tai häiriöt eivät kuitenkaan haastattelujen perusteella vaikuttaneet aliurakoitsijoiden työskentelyyn, eli ne enimmäkseen havaittiin ja korjattiin ennen kuin työ olisi keskeytynyt. Urakoitsijoille varatun alueen suuresta koosta johtuen työlle pystyttiin takaamaan edellytykset ainakin osassa aluetta vaikka puute olisi huomattu, ja jättämään aikaa puutteen korjaukselle. Lisäksi tahtiajan sisällä olevat tehtävät määriteltiin hyvin etukäteen: seurattujen tehtävien töitä ei yleisesti aloitettu vain sen takia, että saataisiin resurssit töihin, vaan urakoitsijalle oli tavoitteena varata tila ja edellytykset suunnitellun tehtävän loppuunsaattamiseksi.

Salerto (2019) esittää saman kohteen aiemmissa työvaiheissa olleen making do:sta aiheutuvaa hukkaa, koska saman tahtialueen sisällä tapahtui ruuhkautumista ja häiriöitä, mitkä aiheuttivat epäoptimaalisen työympäristön. Tässä työssä tutkitut työvaiheet olivat luonteeltaan tahdistavia, eikä niiden kanssa samaan aikaan pystynyt tekemään töitä esimerkiksi yläpuolella. Toisaalta esimerkiksi julkisivuun liittyviä töitä tehtiin samaan aikaan, samalla alueella kuin asennuslattiatöitä, mikä varmasti vaikutti ainakin tietyissä määrin työskentelyedellytyksiin.

Itse prosessoinnin toteuttaminen oli aliurakoitsijan ammattitaidon varassa. Sähköurakoitsija esitti, että he tekevät mieluiten suuria massoja, koska työn aloittaminen uudelleen hidastaa työtä. Sähköasentaja esitti, että sähköasentaja tekee parhaiten töitä, kun hän pääsee tekemään suuria määriä kerrallaan. Alapuolisissa sähkötöissä tämä toteutuikin hyvin: useat ilmaisivat alapuolisten sähkötöiden olleen tältä kannalta hyvä työvaihe. Sähköasentaja sai tehdä koko kerroksen kerrallaan valmiiksi, mikä paransi työn tehokkuutta. Myös tuotantonopeuden mittaukset tukevat tätä: tuotantonopeus oli melko tasainen ja työ tehtiin viikon pyrähdyksissä.

Asennuslattiaurakoitsijalla oli sama tilanne: alueet valmisteltiin heitä varten, ja he pääsivät tekemään suuria määriä kerrallaan. Kyseenalaiseksi jää, onko asennuslattiaurakoitsijan kannalta tehokkaampaa tehdä kokonaisista lattiapaloista koostuvat alueet kerrallaan ja myöhemmin reuna-alueet kerrallaan, vai reuna-alueet muiden mukana. Asennuslattiaurakoitsijan asennusnopeudessa tuntia kohti näkyy kasvua ensimmäisten viikkojen kohdalla. Tämän jälkeen tuotantonopeus tasaantui. Tuotantonopeudessa näkyi piikkejä, kun aliurakoitsija teki suuria massoja saadakseen aikataulua kiinni, ja jätti reuna-alueet tekemättä. Lopussa C-lohkon massojen valmistuessa tuotantonopeus hidastui, luultavasti koska suuret massat saatiin tehtyä.

Odottaminen

Havainnot odottamisen suhteen olivat samanlaisia, kuin tarpeettoman työn hukan suhteen. Työntekijän käyttämää aikaa ei tutkittu tarkasti, mutta vaikutti siltä, että kaikki työn

edellytykset olivat hyvin varmistettu pääosan ajasta. Työntekijä ei näyttänyt suuremmassa kuvassa odottavan ohjeita tai työn edellytyksiä.

Tilassa ei tehdä työtä

Tilojen käyttöasteeksi on saatu esimerkiksi Wardin ja McElween (2007) aiemmassa tutkimuksessa työaikaa seuraamalla noin 10%. Salerto (2019) esittää tässä työssä seuratus hankkeen käyttöasteen olleen kerroksen kolme käytävien aiempien työvaiheiden osalta välillä 2-42%. Ruohomäki (Julkaisematon) esittää omassa päivän tahtiajalla toteutetussa hankkeessa käyttöasteen olleen 37%. Ruohomäen tahtikohde erosi kuitenkin luonteeltaan tässä työssä seuratus kohteesta: kohde oli hotellikorjaushanke, jossa tahtialueet olivat toistuvia ja kohtuullisen pieniä hotellihuoneita.

Tämän työn havainnot tukevat parantumista käyttöasteessa ainakin epätasaisemman virtauksen työmaihin verrattuna. Luotettava ja hyvin suunniteltu kerros kerrallaan tehtävä tuotanto ilman ylimääräisiä tila- tai aikapuskureita tiivistää aikataulua. Haastatteluissa esitettiin yleisesti aluejaon ja viikon tahtiajan parantaneen tilojen käyttöastetta verrattuna alkuperäiseen. Kun tehtävien välistä poistettiin ”tyhjä tila”, eli tasapainotettiin tuotantoa, saatiin tilat paremmin käyttöön. Tämä ei kuitenkaan ole tässä työssä tutkittujen tehtävien osalta niinkään tahtituotannon tai eräkokojen pienentämisen ansiota (Faloughi et al. 2015), koska alueeksi varattiin koko kerros. Tehtävien tasapainotus on saavutettavissa esimerkiksi myös LBMS-menetelmällä (Kenley ja Seppänen 2010). Alapuoliset sähkötyöt valmistuivat noin 1-1,5 viikossa suunnitellun kahden viikon sijaan ja varasivat noin kerroksen kerrallaan. Asennuslattiatyöt taas tekivät töitä koko kerroksen alueella ja varasivat ainakin osia keskimäärin kahdesta kerroksesta töillensä suunnitellun yhden kerroksen sijaan.

Projektinjohto kuitenkin esitti haastatteluissa viikon tahtiajan mahdollistavan työn yhteensovitus myös tahtiajan sisällä. Töitä sovitettiin päivätasolla yhteen. Tästä voi päätellä, että käyttämätöntä keskeneräistä tilaa oli edelleen huomattava määrä. Projektinjohtoon mukaan viikon tahtiaika sopi kuitenkin tähän hankkeeseen. Eräkoon pienentämistä voisi vastustaa esimerkiksi sähköurakoitsija, joka halusi tehdä koko kerroksen alapuoliset asennukset kerralla varaten tilan itselleen. Heidän tapansa oli asentaa ensin johtotiet koko kerrokseen, minkä jälkeen asennettiin itse johdotukset.

Projektinjohtoon mukaan eräkoko voitaisiin pienentää esimerkiksi päivään, mutta se vaatisi enemmän toimihenkilöresursseja: töiden yhteensovittamisesta tulisi hankalampaa. Mainittu valinta resurssioptimoinnin ja tilaoptimoinnin välillä (Faloughi et al. 2015) painottui siis näissä työvaiheissa edelleen resurssioptimointiin eli työn virtaukseen, vaikka tuotannon tasapainotuksella poistettiin tyhjän tilan hukkaa.

Materiaaleja ei prosessoida

Työmaalle varastoitujen materiaalien määrä oli tavallista pienempi tiukoista logistiikkavaatimuksista johtuen. Projektinjohto kielsi ylimääräisen materiaalin varastoinnin, jotta tilat pysyisivät tyhjinä. Lisäksi projektilla oli käytössä työmaan läheinen välivarastoalue, mihin urakoitsijat pystyivät varastoimaan materiaaleja. Logistiikkaurakoitsijan ja hyvän logistiikkasuunnittelun ansiosta materiaalitoimituksissa ei huomattu suuria ongelmia, vaikka työmaalle ei saatu varastoida suuria määriä materiaalia.

Materiaalien turha siirtäminen

Työmaalle varastoinnin kieltämisen takia materiaalitoimitukset tilattiin siten, että ne oli tarkoitus varastoida alkavan työvaiheen tiloihin. Aikataulusviiveiden takia esimerkiksi sähköurakoitsija joutui kuitenkin varastoimaan tilattuja materiaaleja muualle, ja siirtämään nämä myöhemmin uudelleen työkohteeseen. Turhan siirtämisen voisi kuitenkin sanoa olevan tavallista työmaata vähäisempää, sillä varmempi aikataulu ja tilannekuva mahdollistivat tarkempien toimitusten tekemisen.

5.2 Menetelmien ja yhteistoiminnallisuuden vaikutus hukkaan

Tässä kappaleessa käsitellään esiteltyjen menetelmien ja käytäntöjen vaikutusta tuotantoon yhteistoiminnallisuuden näkökulmasta. Tässä esiteltävät menetelmät sekä projektin ominaisuudet ovat havaintojen perusteella tuotannonsuunnittelua ja -ohjausta parantaneita tekijöitä. Havaittuja puutteita tuotannonohjauksessa verrataan menetelmien tarkoitettuihin ominaisuuksiin.

Tapaustutkimuksen työmaalla lean-käytäntöjä mittaavalla indeksillä tulokseksi saatiin 10 ja verrokkityömaalla 8,5. Priven ja Sacksin (2016) tutkimuksessa työmaat saivat pisteitä välillä 7,5-12,5. Tästä voidaan ajatella työmaiden peruskäytäntöjen olevan vastaavalla tasolla, kuin muualla, ja uusiin menetelmiin panostaneen työmaan päässeen indeksissä keskimääräistä paremmalle tasolle, mutta jääden kuitenkin tietyiltä osilta vajaaksi ”täydellisestä”. Tapaustutkimuksen työmaan puutteet liittyivät tuotannonohjaukseen - eli edellytysten varmistamiseen ja oppimiseen.

5.2.1 LBMS

Yleisaikataulu määrittä välitavoitteet yrityksen järjestelmän mukaisesti. LBMS-menetelmän mukaisesti suunniteltu yleisaikataulu toimi projektinjohtolisten asioiden, kuten urakkasopimusten ja projektin rakennuttajalle ilmoitettujen työvaiheilmoitusten pohjana. Sijaintipohjainen aikataulutus on tuttu tekijöille, ja sen käyttöä projektin yleisaikataulun määrittämiseen vaaditaan tiukasti. Tässä mielessä LBMS-menetelmässä tavoitellut hyvän suunnitelman periaatteet, kuten tehtävien järjestys ja logiikka, tilankäyttö, töiden jatkuvuus sekä puskureiden järkevä käyttö (Bølviken et al. 2015; Kenley ja Seppänen 2010) olivat jo sisäänrakennettuna työmaan toimintatapaan ja näkyivät vaiheaikataulun pohjana. Yleisaikataulun toteutumista ei kuitenkaan tarkemmin analysoitu.

LBMS-menetelmän tuotannonohjausominaisuutta, eli toteutumisen perusteella ongelmien ennustamista ei käytetty hyödyksi. Menetelmän tarjoamia varoituksia tulevista ongelmista olisi voitu esimerkiksi käyttää aliurakoitsijoiden kanssa ohjaustoimien päättämiseen (Freeman ja Seppänen 2014). Yleisaikataulutoteumaa syötettiin tasaisesti kahden viikon välein, mutta se ei tuonut lisäarvoa tuotannonohjaukseen. Aikatauluinsinööri esitti control-ohjelmiston olevan hyvä aikataulutukseen: siihen saa toteumaa päivätasolla ja se kertoo tulevasta. Kuitenkin tällä projektilla tukeuduttiin vaiheaikataulussa tapahtuneeseen seurantaan. Näkemättä jäi, olisivatko LPS- ja LBMS-menetelmien yhdistämisestä kirjallisuudessa löydetty hyödyt (Seppänen et al. 2014) tuottavuuden parantumisesta toteutuneet projektilla.

5.2.2 LPS

LPS-menetelmän esitettiin olevan osa yrityksen tuotannonohjausjärjestelmää, mutta sen tuotannon suojaamisen ja oppimisen mahdollistavien tarkentuvan suunnittelun käytäntöjen käytön olevan puutteellista. Menetelmän mukainen (Ballard ja Howell 2003a; Tsao ja Hammons 2014) KVA-palavereilla tehty tahtipohjainen vaiheaikataulu oli suurin koettu parannus tuotannonohjaukseen. Aluevastaavien tarkentava 10 viikon suunnitelma ja viikkosuunnittelukäytäntö olivat käytössä, mutta niitä ei tehty menetelmän mukaisesti tekijöiden kanssa yhdessä edellytykset varmistaen. Myöskään viikkosuunnitelmien toteutumista ei seurattu, eikä viisi-miksi-analyysejä tehty.

KVA-palavereiden seurauksena syntynyt vaiheaikataulu oli koko projektin tuotannonohjauksen ja nähtyjen hyötyjen keskiössä. KVA-palavereita on pidetty huomattava määrä niin kohdeyrityksessä kuin koko alalla, mutta tällä työmaalla se oli uusi menetelmä, tai ei ainakaan kovin tuttu suurimmalle osalle projektinjohtoa ja aliurakoitsijoita. Seuratut urakoitsijat esittivät kuitenkin menetelmän olleen käytössä joillain heidän aiemmilla projekteilla. KVA:n tekemisestä saatiin vastaavia kokemuksia, kuin Tsaon ja Hammonsin (2014) tutkimuksessa: projektinjohto yritti aluksi itse vetää palavereita, mutta vasta kehitystiimistä tulleen fasilitoijan tultua ja usean palaverin sekä laajan pohjatyon jälkeen se onnistui. Vaiheaikataulun mahdollistama tilannekuva ja tuotannonohjauksen parantuminen koettiin todella hyvänä asiana projektilla. Kaikki haastatellut suosittelivat sen käyttöönottoa, ja sen tuomat hyödyt näkyvät esitellysti tuotannon hukan vähentymisenä sekä virtauksen parantumisena.

Vaikka viikkosuunnittelulla tehty tuotannon suojaaminen on LPS-menetelmän ehkä tärkein osa (Ballard 2000), se ei ole ollut menetelmän mukaisesti käytössä verrokkiprojektilla, seuratulla projektilla tai projekteilla, joissa kirjoittaja on ollut mukana. Viikkosuunnittelua tehdään ja käsitellään mestaripalavereissa, mutta se ei oikeasti ohjaa toimintaa eikä virheistä opita. Yleensä viikkosuunnitelma toimii muistilistana tehtävistä, joilla pidetään resurssit kiireisenä. Työnjohtajat esittivät vaiheaikataulun olevan parempi työkalu tuotannonohjaukseen. Kuitenkaan PJU:n työnjohto ei kyennyt pelkästään vaiheaikataulun ja yksin tehdyn viikkosuunnitelman avulla varmistamaan työskentelyedellytyksiä, eikä lupausten luotettavuutta pystytty seuraamaan.

Tutkimuksessa löydettyjen havaintojen perusteella ajatus tuotannon suojaamisesta tulee toista kautta esille, kun vaiheaikataulun ja selvien tehtävien välisten rajojen kautta urakoitsijan edellytykset paljastuvat. Työvaiheiden välisessä luovutuksessa tapahtuu aina tarkastelu töiden edellytyksistä. Tuotannon suojaamisen hyödyt saadaan ehkä paremmin käyttöön, kun edellytysten varmistamiselle tulee sosiaalinen "imu". Tämä on ajatuksena myös Social Subcontractissa, jota tutkiessa huomattiin sosiaalisen vastuun kannustavan edellytysten varmistamiseen (Priven ja Sacks 2016). Tuotannon suojaamista tapahtuu, kun työnjohtaja näkee vastuullaan olevan työvaiheen olevan alkamassa. Kun tahtiajattelun mukaisiin nopeisiin luovutusväleihin jokaisessa sijainnissa yhdistettäisiin PJU:n systemaattinen vastuutus ja seuraaminen esimerkiksi Social Subcontractilla, työnjohtajille syntyisi jokin syy tarkistella tehtävien edellytyksiä. Yhteinen ongelmanratkaisu toisten syytelyn sijaan on yhteistoiminnallisuuden päähyötyjä myös kirjallisuudessa (mm. Mota et al. 2019;

Ryan et al. 2019; Ribeiro et al. 2017).

5.2.3 Tahtiajattelu

Tahtituotanto otettiin pilottiprojektissa kokeiluun ”kevyesti”. Aliurakoitsijoille ei puhuttu tahtituotannosta, vaan tarkoituksena oli luoda viikon tahtiaikaa pohjana käyttävä aikataulu, jossa kerroksia on kuitenkin jaettu pienempiin alueisiin. Haastattelujen perusteella PJU:n suunnittelema tahtialuejako otettiin hyvin vastaan: aliurakoitsijat näkivät, miten alueita pienentämällä he saavat ”enemmän aikaa käyttöön”. Tässä työssä seuratut työvaiheet suunniteltiin kuitenkin koko kerroksen laajuiseksi.

Tahtiaikataulussa on hyvä pitää mielessä selkeä aluejako. Tahtituotannon etuja on aluejakojen ja aikataulumääreiden selkeys: mitä tehdään, missä ja milloin (Tommelein 2017). Jotta tämänkaltaisen tiukka jako toimii, tekijöiden täytyy ymmärtää se. Toisaalta selkeiden rajojen määrittämisen ja ymmärtämisen jälkeen kaikki tietävät, mitä heiltä odotetaan. Tässä projektissa tahtialueisiin jako olisi tuskin onnistunut ilman kaikkien osapuolten ymmärrystä niistä.

Työvaiheiden välinen luovutus seuraavalle näytti olevan tärkeä ohjaava tekijä seuratuissa tehtävissä. Sähköurakoitsija varmisti aina edellytykset asennuslattiatöiden alkamiselle, jopa juhannusviikolla suurimman osan ollessa lomilla. Asennuslattiaurakoitsija taas yritti heikosta tuottavuudestakin huolimatta tehdä edellytykset seuraavan tehtävän alkamiselle, vaikka jäikin jälkeen. Yhteistoiminnallisuuden ja selkeiden tahtialueiden tuoma käsitys omasta tehtävästä ja sen vaikutuksista muihin näyttäisi ohjaavan vahvasti tuotantoa. Ilman näiden tehtävien välisten rajojen selkeyttä ja niihin sitoutumista tuotannon edellytysten varmistaminen ylhäältä käsin ohjailemalla olisi hyvin paljon vaikeampaa.

Työvaiheiden välinen luovutus ei kuitenkaan onnistunut täydellisesti ainakaan asennuslattiaurakoitsijalla. Alhava et al. (2019) työssä esitetään vastaavanlaisia kokemuksia: ongelmat ja hännät jätettiin tehtäväksi myöhemmin prosessin keskeyttämisen sijaan. Heidän tutkimuksessaan esitettiin näiden virheiden ja puutteiden korjaamiseen kuluneen kuukausi kuuden kuukauden sisävaiheesta. Tehtävien välinen luovutus 100% valmiudessa täytyisi olla tavoitteena: ongelmat täytyy kohdata heti tai läpimenoajan lyhentämiseen tähtäävä tahtiaika menettää hyötyjään (Tommelein 2017). PJU:n talotekniikka-asiantuntijan mielestä häntien jääminen ovat rakennusalan luontainen ominaisuus. Hänen mukaansa muuttuvia tekijöitä on niin paljon, että väistämättä jokin puute tapahtuu, eikä työtä saada loppuun. Varma etukäteen suunnittelu ja kaikkien edellytysten huomioiminen vaikutti suurelta vaikeudelta työnjohdolle.

5.2.4 Luottamus ja sosiaalinen aspekti

Kuten yhteistoiminnallisuutta käsittelevässä kappaleessa esiteltiin, aliurakoitsijan luottamus pääurakoitsijaan sekä muihin urakoitsijoihin ja sitä kautta aikatauluun vaikuttaa paljon sen käyttäytymiseen projektia kohtaan (Priven ja Sacks 2016; Sacks ja Harel 2006; Tommelein et al. 1998). Tässä työssä havaittiin aiempia tutkimuksia vastaavia löydöksiä siitä, että nokkamiesten ja aliurakoitsijoiden mukaan ottaminen tuotannonsuunnitteluun lisää osapuolten sitoutumista aikatauluun. Tätä kautta saavutettu luotettavampi tuotanto

paransi virtauksia ja vähensi hukkaa, koska töiden aloitusedellytykset olivat varmempia, urakoitsijat pystyivät ennakoimaan tuotantoa ja osapuolet tiesivät oman työnsä tuomat vaikutukset muihin.

Tässä työssä huomattiin urakoitsijoiden luottamuksen järkkyminen tilanteissa, jossa he olivat ilmoittaneet ongelmista, mutta niihin ei oltu reagoitu PJU:n puolelta. Sitoutuminen ja luottamus ei voi siis tapahtua yksipuolisesti aliurakoitsijoiden suunnasta projektin aikatauluun, vaan tärkeää on PJU:n sitoutuminen tekemään edellytykset valmiiksi. Social Subcontract -kappaleessa esitetty yhteistoiminnallisuuden ja molemminpuolisen vastuun tuoma parantunut työn edellytysten varmistaminen näkyi tässäkin projektissa (Priven ja Sacks 2016). Mutta ilman Social Subcontractin kaltaista PJU:n toiminnan arviointia ja vastuuttamista urakoitsijat menettivät luottamusta PJU:n kykyyn varmistaa edellytykset heille. Projektilla oli käytössä yhteistoiminnalliset palaverit, joissa esitettiin ongelmia ja häiriöitä, mutta PJU epäonnistui systemaattisesti kirjaamaan ja reagoimaan näihin esille tulleisiin ongelmiin.

Kaikenkaikkiaan työmaalla olleen hyvän hengen ilmaistiin kasvattavan osapuolten sitoutumista projektiin. Ongelmia tuotiin esille ja niitä ratkaistiin yhteisesti paremmin kuin aiemmissa projekteissa, mikä vastaa aiempia tuloksia (mm. Mota et al. 2019; Ryan et al. 2019; Ribeiro et al. 2017).

5.2.5 Tilannekuva

Tässä projektissa erityisiä haastattelumainintoja sai tilannekuva: useat ilmaisivat, että missään aiemmissa projekteissa ei ole ollut näin hyvää tilannekuvaa, tai ongelmiin ole pystytty reagoimaan yhtä nopeasti. Tilannekuva pohjautui orgaanisesti syntyneeseen excel-pohjaiseen vaiheaikatauluun, jonka kaikki ymmärsivät ja jota seurattiin viikoittain. Näyttäisi siltä, että aikataulutustyökalujen teknisen laadun sijaan on tärkeämpää, että tilannekuva luodaan kaikkien ymmärtämällä tavalla. Kyseisen projektin aikatauluseurantamenetelmää pidettiin visuaalisena ja ymmärrettävänä. Vinoviivaesitys sai kritiikkiä, koska sitä pidettiin sekavana: ettei siitä näe tilannetta. LBMS-menetelmään pohjautuvassa Control-ohjelmistossa on vastaavanlainen ominaisuus, eli valvontavinjetti, joka kuvaa tehtävien tilannetta sijainnetaan (Kenley ja Seppänen 2010). Tässä tilanteessa selvä ero teknisen järjestelmän luomaan tilannekatsaukseen on sen ymmärtäminen: hyvät kokemukset pohjautuivat paljolti siihen, että tilannekuvan käyttäjät ymmärsivät sen sisällön. Olivieri et al. (2016) esittämässä LBMS:n ja LPS:n yhdistelmässä mainitun LBMS:n käyttöä seurantaan voisi siis parantaa aikataulun ”omistaminen”, eli että tekijät olisivat itse tehneet sen. Seinällä oleva yksinkertainen ”laatikkoesitys” on kuitenkin kokemusten pohjalta ehkä intuitiivisempi, kuin tietokonepohjainen järjestelmä.

Excel-pohjaisen vaiheaikataulun tilannekuvan laatu heikkeni, kun tehtäviä alkoi jäämään aikataulusta. PJU:n työnjohto piti kuitenkin seurattua aikataulua hyvänä: siitä näki kuka oli myöhässä ja missä nyt mennään. Heidän mielestään tulevia töitä pystyi suunnittelemaan, koska kerrokset menivät järjestyksessä eteenpäin. Aliurakoitsijat, etenkin sähkönokka, taas ilmaisivat, että kun vaiheaikataulu jää parilla viikolla jälkeen, enää ei pysty sanomaan milloin omat työt alkavat. Sähkönokan mielestä aikataulua pitäisi päivittää ja muuttaa, kun se

jää jälkeen, jotta jälleen näkisi, milloin omat työt alkavat. PJU:n työjohto taas ei halunnut muuttaa aikataulua, jotta se ei menettäisi sen luomaa ”painetta”, eli kaikki näkisivät, kuka on myöhässä. Tässä mielessä tilannekuva ei ollut täydellinen: siitä ei selvästi nähdä mitä tulisi tehdä seuraavaksi, kuten esimerkiksi hyvissä LBMS- tai tahtiohjaustoteutuksissa (Binninger et al. 2017b; Seppänen et al. 2014).

LPS-menetelmän mukaisesti vaiheaikataulun tulisi olla vain pohja tarkentuvalle suunnittelulle - eli se saakin jäädä muuttamatta (Ballard 2000). Tässä tai verrokiprojektissa LPS-menetelmän mukaista viikkosuunnittelua ei tehty, eli vaiheaikataulu toimi tarkimpana aikatauluna. PJU:n työjohtaja myös koki, että hyvin tehty vaiheaikataulu korvaa viikkosuunnitelman. Tästä voisi ajatella, että jos vaiheaikataulun pilkkoo tarkentuvaan suunnitteluun, se saattaa menettää merkityksensä tärkeänä työkaluna tuotannonohjauksessa, koska viikkosuunnittelukäytäntö ei pysty vastaamaan samanlaiseen kokonaiskuvan ymmärtämiseen.

Sähkönokan mukaan vaiheaikataulu oli pysynyt hyvänä ja luotettavana asennuslattiatöihin asti, joiden jälkeen se ei enää pitänyt paikkaansa. Näiden havaintojen perusteella voisi sanoa, että jos hyvien kokemusten saattelemana yhteisesti suunniteltu vaiheaikataulu otetaan pääasialliseksi tuotannonohjaustyökaluksi, sitä pitää päivittää tasaisin väliajoin. Päivitysväli tulee mitoittaa siten, että aikataulu pysyy käytettävänä, mutta luo painetta eikä aikataulutuspäivityksiä pidetä liikaa: osapuolten täytyy pitää palavereja edelleen hyödyllisinä. Vastaavanlaisia hyötyjä esittävät myös Alhava et al. (2019) omassa tahtipilottia tutkineessa työssään: hyvä tilannekuva mahdollisti tehokkaan ja oikea-aikaisen päätöksenteon ongelmista huolimatta.

5.2.6 Aamupalaveri

Aamupalaverikäytäntö sai ristiriitasta palautetta projektilla. PJU piti sitä ehdottoman hyödyllisenä, kun taas aliurakoitsijat kokivat sen turhaksi. PJU sai ilmoituksia päivän töihin vaikuttavista esteistä, ja sitä kautta sai tehtyä oman osansa edellytysten parantamisesta paremmin. PJU myös koki aamupalaverin parantavan tilannekuvaa: kaikki tietävät missä tänään tehdään ja onko joku tulossa tielle tai lähdessä pois tieltä. Aliurakoitsijat taas kokivat, että saavat saman asian hoidettua paremmin suoraan PJU:n urakkavalvojan kautta.

Aamupalaverin edellytyksenä esitettiin olevan hyvä tieto nykytilanteesta. Ilman tietoa siitä, missä mennään ja mitä pitäisi tehdä aamupalaverista ei ole hyötyä. Aamupalaveriin saatiin suurin osa nokkamiehistä mukaan joka aamu, ehkä sopimusten, ehkä hyvän ilmapiirin tai sitten koetun hyödyn ansiosta.

Aamupalaverin voi katsoa olevan enimmäkseen PJU:n velvollisuuksien täyttämistä varten. PJU saa tiedon siitä, mitä heidän tulee saada tehtyä, jotta urakoitsijoiden työt jatkuvat. Lisäksi tilannekuva ja yhteistoiminta näyttäisi parantuvan jossain määrin yhteisten tapoamisten ansiosta. Aamupalaverissa saatiin etukäteistietoa esteistä ja häiriöistä, ja sen avulla pystyttiin tekemään työn edellytykset paremmin valmiiksi. Tilanne on parempi, kuin silloin, jos urakoitsija ilmoittaa esteestä vasta sen tullessa eteen.

5.3 Esteet ja mahdollistajat käyttöönnotolle

Tässä kappaleessa esitetään pohdintaa tutkimuksen perusteella löydettyistä esteistä ja mahdollistajista parempien tuotannonohjausmenetelmien käytölle.

Haastattelujen perusteella yrityksen nykyinen prosessikuvaus ei palvele tuotantoa. Kuten esitetty, LPS ja LBMS ovat toimivia menetelmiä tuotannonohjaukseen, mutta ne eivät ole tarkoitettussa muodossaan käytössä. Tämä tarkoittaa, että työkaluihin, ohjeistukseen ja hyötyjen esittelyihin perustuva lean-menetelmien tuominen käytäntöön ei ole onnistunut (Christensen et al. 2019). Kuitenkin innostusta tekemistä parantaviin menetelmiin havaittiin, varsinkin kun niistä koettiin saatavan hyötyä. Kirjallisuudessa esitetty (Christensen et al. 2019; Richert ja McGuffey 2019) tarvittava kokemus saatavasta hyödystä menetelmien käyttöönoton edistämiseksi näkyi tutkimuksessa.

Uusia tuotannonohjausmenetelmiä käyttöönotaneella työmaalla näkyi yhtäläisyydet Hackett et al. (2019) esittämiin hyviin käytäntöihin LPS:n käyttöönotossa: ylemmältä johdolta oli saatu tuki, linjapäälliköt ja vastaava työnjohtaja olivat sitoutuneet uusiin menetelmiin. Lisäksi työmaalla oli selvästi uusia menetelmiä ajavia ”epävirallisia johtajia”, eli muutosta ajavia lean-championeja. Esitettyjen hyvien käytäntöjen pohjalta voidaan esittää hyviä kokemuksia saaneiden henkilöiden saaminen levittämään käytäntöjä tuleville työmaille olevan tärkeää.

Lean-rakentaminen ei ole saavuttanut kriittistä pistettä, jossa se leviäisi itsestään työmaiden halusta (Koskenvesa ja Koskela 2012). Esitettyjä esteitä tälle ovat mm. johtamisen puute, muutosvastarinta ja sopimukselliset haasteet (Fernandez-Solis et al. 2012; Porwal et al. 2010). Ongelmaksi jää, miten saadaan tuotanto pois mukavuusalueeltaan ja kiinnostumaan menetelmistä. Muutoksen täytyy olla mielekästä henkilökohtaisella tasolla ja auttaa omaa suoritusta (Christensen et al. 2019). Seuratulla työmaalla kiinnostus menetelmien käyttöönottoon lähti projektinjohdon huomaamasta aikataulupaineesta. Jostain syystä ”pelastusta” etsittiin seurattakin projektilla lean-menetelmistä vasta vaikeuksien ilmetessä ja rutiini esimerkiksi vaiheaikataulusuunnitteluun puuttuu.

Tällä hetkellä yrityksessä ei tarjota juurikaan koulutusta leanin periaatteista tai menetelmien käytöstä. KVA-fasilitoijia on harvassa, eikä niitä aktiivisesti kouluteta organisaatioissa. Tapauskohteessa nuori ja innokas aluevastaava halusi ehdottomasti koulutusta uusista menetelmistä, jotta voisi käyttää niitä omassa työssään. Tämä vastaa Christensen et al. (Christensen et al. 2019) tutkimuksessa esitettyjä esteitä leanin käytölle: tiedon puute ja ”en tiedä” olivat kaksi kolmesta tärkeimmästä esteestä menetelmien käytölle. Prosessikuvauksen, excel-taulukoiden ja lyhyiden menetelmien esittelyjen lisäksi saatavilla ei ole tarkemmalle tasolle menevää tietoa menetelmien käytöstä. Työmaille tulisi lisäksi olla mahdollisuus saada KVA-fasilitoijia niin halutessaan, eli keinot menetelmän mukaiselle paremmalle tuotannolle tulee tarjota, jos niiden käyttöön syntyy innostusta. Menetelmien käytölle olisi kokemusten perusteella hyvä luoda selkeä ohjeistus: mitä menetelmä tarkoittaa, mihin se perustuu tuotantoteorian näkökulmasta ja miten se otetaan käyttöön.

Menetelmien saamista käyttöön voisi parantaa selvä esitys siitä mitä vaaditaan konkreettisesti tasolla, jotta menetelmien käytön tarkoitus selvenisi. Haastateltujen mukaan prosessin olisi hyvä myös palvella kaikenkokoisia projekteja - esimerkiksi suhteuttaen tuotannon-suunnittelukäytännöt ja ehdotettu viikkorutiini 20 miljoonan välein erikokoisille projekteille. Tavasta toimia tulisi selvittää perustaso - mitkä asiat tulee hoitaa työmaalla. "Käytä näitä työkaluja ja tee nämä asiat." Tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaukseen liittyen vaadittavat asiat voivat olla esimerkiksi vaihe aikataulutusta kaikkien vaiheeseen osallistuvien kanssa, tilannekuvan ylläpito ja kaikille yhteinen aamupalaveri vaihtelevin väliajoin. Projekteille tulisi olla ehdotus roolituksista ja eri roolien vastuista - näitä vastuita voidaan jakaa projektin sisällä. Kaikki kiteytyy ihmisten motivaatioihin ja menetelmien vastaamiseen näihin motivaatioihin.

5.4 Tutkimuksen tieteellinen kontribuutio

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin lean-rakentamista tutkineen yhteisön kehittämien menetelmien parantavan tutkitusti tuotantoa (Seppänen et al. 2014; Frandson et al. 2013; Liu et al. 2011), mutta niiden käyttöönoton olleen odotettua heikompaa (mm. Richert ja McGuffey 2019; Demirkesen et al. 2019; Christensen et al. 2019; Koskenvesa ja Koskela 2012). Tässä työssä tutkittiin aliurakoitsijan osallistamisen ja sen motivaatioiden vaikutusta tuotannonohjaukseen sekä siinä käytettyjen menetelmien toimivuuteen, jatkaen esimerkiksi Priven ja Sacksin (2016) sekä Freeman ja Seppäsen (2014) löydöksiä. Ensimmäinen kontribuutio liittyy teknisillä menetelmillä saadun aikataulun viemisestä tuotannonohjaukseen saatuihin käytännönläheisiin kokemuksiin. Vaihtelun vähentämiseen ja virtausten parantamiseen tähtäävien aikataulutuksen menetelmien, kuten LBMS ja tahtituotanto, käytännön toteutuksesta, toteutumisesta sekä toteuttavan osapuolen kokemuksista saatava tieto täydentää alan tutkimusta.

Toinen kontribuutio liittyy motivaatioihin käyttää menetelmiä ja parantaa tuotantoa. Alan ongelmana on ollut muuttaa ajattelutapaa perinteisestä erillisiin tuotantotehtäviin perustuvasta tuotannonohjauksesta ja siirtyä näkemään tuotannon virtaus, vaihtelu ja hukka (Koskela 2000). Tässä työssä esitetään sosiaalisen vastuutuksen ja yhteistoiminnallisen suunnittelun vaikutuksia tuotannon toimijoiden tapaan suunnitella tuotantoa ja varmistaa tuotannon edellytykset. Tämä täydentää tietoa lähestymistavasta, joka tuotannon parantamiseen täytyy ottaa, jotta lean-rakentamisen periaatteita voidaan viedä käytäntöön.

5.5 Tutkimuksen kontribuutio kohdeyrityksen näkökulmasta

Kohdeyritykselle esitettiin kokemuksia esteistä ja mahdollisuuksista menetelmien käyttöön liittyen, sekä parannusehdotuksia nykyiseen tilanteeseen menetelmien saamiseksi laajemmin käyttöön. Tahtituotannosta ja yhteistoiminnallisuudesta saatujen kokemusten avulla voidaan tulevaisuudessa tunnistaa esteet ja mahdollisuudet menetelmien käytölle. Yhteistoiminnallisuuden avulla esitettiin saavutettavan hyötyjä tuotannon luotettavuuteen sekä aliurakoitsijoiden motivaatioihin liittyen. Lisäksi esitettiin tahtituotannon tai muun paremman tuotannonsuunnittelun onnistumisen olevan vahvasti riippuvainen aliurakoitsijan osallistamisesta sekä yrityksen omien tuotannon edellytyksiin liittyvien vastuiden hoitamisesta. Nämä löydökset auttavat löytämään hyvän lähestymistavan tuotannon ja

tuottavuuden parantamiseen.

5.6 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti

5.6.1 Reliabiliteetti

Tulosten reliaabelius tarkoittaa tulosten toistettavuutta (Hirsjärvi et al. 2007). Tässä työssä tärkeimmät tiedonkeräysmenetelmät olivat havainnointi työmaalla, kulunvalvonnasta saatu tieto työntekijöiden työmaalla olosta sekä haastattelut. Kvantitatiivilla mittareilla, eli toteutuneilla tuotantomäärillä ja työntekijätunneilla toistettavuus on hyvä: ne voitaisiin saada objektiivisesti uudelleenkin mittaamalla. Lisäksi näistä saatuja havaintoja tuettiin dokumenteista, kuten työnjohtajien tekemästä aikatauluseurannasta saaduilla tiedoilla. Kulunvalvonnasta saatu tieto oli tiettyinä päivinä epäluotettavaa, eli portin läpi kulku ei kirjautunut sisään tai ulos mennessä. Näiden määrä kokonaisuudessa oli kuitenkin vähäinen, ja tuloksia mitattiin lähinnä viikon ajalta saatavana keskiarvona, mikä tasasi käytettyjä tuloksia. Lisäksi tuottavuutta, resurssimääriä tai toteumaa ei niinkään analysoitu määrällisesti, vaan ne toimivat muiden havaintojen tukena johtopäätöksiä tekemisessä. Tällöin pienet mittausvirheet eivät vaikuta johtopäätöksiin.

Haastatteluista saadut tärkeimmät määreet olivat esteet ja häiriöt sekä kokemukset käytännöistä. Esteistä ja häiriöistä saatujen mainintojen varmuutta parannettiin havainnoinnilla ja dokumenttianalyysillä: niiden esiintuloa ei jätetty vain haastattelun varaan, vaan haastatelluilta kysyttiin dokumenteissa ja havainnoinnissa esiin tulleista tapauksista. Näin voidaan pitää esitettyjä häiriöitä ja esteitä melko objektiivisina esityksinä todellisuudessa tapahtuneesta. Kokemukset käytännöistä pohjautuivat haastattelurunkoon, eli siinä esitetyt aiheet olivat käsittelyn pohjana. Teemahaastatteluissa pyrittiin välttämään johdattelua, eli annettiin haastateltavan tuoda itse esiin tärkeäksi kokemansa asiat. Kun haastatteluja oli useita seurattuihin työvaiheisiin sekä menetelmien käyttöön liittyen, pystyttiin löytämään yhteneväisyyksiä ja käyttämään näitä johtopäätösten pohjana.

Tähän työhön lähdettäessä tutkijalla oli ennako-oletuksia tuotannonohjauksen vaikutuksesta tuotannon kulkuun, mitkä kuitenkin muuttuivat työn edetessä ja tulosten perusteella. Esitetyillä objektiivisilla mittareilla pyrittiin varmistamaan, että tulokset kuvaavat tuotannon toteutumista mahdollisimman hyvin. Tällöin tutkijan oletukset jäävät vähäisempään rooliin, ja löydettäväksi jää ainoastaan yhteydet tapahtumien kulun ja toimintatapojen välillä.

5.6.2 Validiteetti

Mittareiden validius tarkoittaa niiden sopivuutta mittaamaan sitä, mitä halutaankin mitata (Hirsjärvi et al. 2007). Käytetyt määreet pohjautuivat aiheeseen liittyvään aiempaan tutkimukseen ja muiden tutkijoiden suosituksiin. Esimerkiksi toteumatietoa ja siihen yhdistettyä tietoa työntekijätunneista voidaan perustellusti pitää sopivina mittareina tuotantotehtävien kulun mittaamiseen. Aihetta aiemmin käsiteltyä tutkimuksia vastaavia mittareita käyttämällä pyrittiin parantamaan työn vertailukelpoisuutta ja validiteettia.

6 Johtopäätökset

Tässä osassa vastataan tutkimuskysymyksiin.

Hypoteesi 1: Aliurakoitsijoiden osallistaminen tuotannonsuunnitteluun auttaa varmistamaan työn edellytykset ennen sen aloitusta.

Löydökset tukevat hypoteesia. Seuratuissa työvaiheissa tehtävien aloitukset tapahtuivat yhteisesti suunnitellun aikataulun mukaisesti, ja tehtävien välisellä kerroksittaisella luovutuksella oli ohjaava vaikutus tehtävien seuraavalle valmiiksi saattamisessa. Yhteinen ennakkosuunnittelu toi aliurakoitsijan kokemuksen sekä tarpeet suunnitelmaan, mikä auttoi ymmärtämään tehtävien sisällön ja edellytykset. Tavallista parempi osallistaminen esimerkiksi aamupalaverin avulla poisti esteitä työnteolta.

Hypoteesi 2: Yhteistoiminnallisesti suunniteltu, sitoutettu ja seurattu aikataulu on laadultaan parempi, kuin työnjohdon yksin suunnittelema.

Löydökset tukevat hypoteesia. Aikataulun laadun mittarina oli sen käytettävyys tuotannonhauksessa, ja kokemukset tukivat yhteisesti suunnitellun aikataulun parempaa käytettävyyttä varmempien aloitusten, tilanteen seurannan tiheyden ja tilanteen ymmärrettävyyden kautta.

Hypoteesi 3: Tahtituotantomenetelmän mukaisesti suunniteltu aikataulu parantaa tilojen käyttöastetta ja vähentää tehotonta työtä, tarpeetonta liikkumista sekä odottamista selkeyttämällä tehtävien välisiä ajallisia ja laadullisia rajapintoja.

Löydökset tukevat osittain hypoteesia. Seuratuissa työvaiheissa tehtävät suunniteltiin tavanomaiselle kerroksen kokoiselle eräkoolle, eli parannusta tilojen käytössä ei tapahtunut. Tehtävien sisällön ja tavoitteiden selkeyttämisen sekä urakoitsijalle aikataulun mukaisesti varatun tilan ja edellytysten varmistamisen ansiosta tehtävät pystyttiin tekemään jatkuvina loppuun asti sähkötöiden tapauksessa. Asennuslattiatoissa tahtituotantoperiaate ei onnistunut, vaan tehtävistä jäi häntiä ja urakoitsija teki suunniteltua useammassa tilassa. Osasyynä asennuslattiatyöryhmien käyttäytymiselle voidaan pitää varamestojen puutetta ja suunniteltua alhaisempaa tuottavuutta.

Hypoteesi 4: Tehtävien aloituksen ja pituuden vaihtelu on pienempää yhteistoiminnallisesti suunnitellulla, sitoutetulla ja ohjatulla aikataululla.

Löydökset tukevat osittain hypoteesia. Tehtävien aloitusten vaihtelu oli pienempää, kuin aiemmissa tutkimuksissa on havaittu. Tehtävien valmistuminen vaihteli kuitenkin tavanomaisesti, eli siihen ei saatu parannusta yhteistoiminnallisella tahtiohjauksella.

Hypoteesi 5: Alun vaikeuksien jälkeen yhteistoiminnallisesta ohjauksesta koetaan saatavan hyötyä.

Löydökset tukevat hypoteesia. Kaikki haastatellut suosittelivat yhteistoiminnallisen KVA-

suunnittelun käyttöönottoa, ja pitivät sillä luotua aikataulua hyödyllisenä. Haastatteluissa esitettiin, että hyvä tuotannonsuunnittelu oli vaativaa ja vaati sinnikästä työskentelyä, mutta oli ponnistelujen jälkeen kokonaiskuvassa hyödyllistä.

Hypoteesi 6: Menetelmistä on koettava saatavan hyötyä, jotta niitä käytetään.

Löydökset tukevat hypoteesia. Yrityksen toimintamallissa olevista lean-käytännöistä vain hyödylliseksi koettu osa oli käytössä. KVA-aikataulutuksen ja aamupalaverien suhteen aliurakoitsijoiden kokema hyöty oli avainasemassa niiden käytössä.

1. Vähentääkö yhteistoiminnallinen tuotannonohjaus hukkaa työmaalla?

Yhteistoiminnallinen tuotannonohjaus vähentää hukkaa selventämällä tehtävien sisältöjä ja edellytyksiä, auttamalla varmistamaan ja pitämään tehtävien edellytykset sekä vähentämällä vaihtelua tehtävien aloituksissa.

2. Mitkä yhteistoiminnallisen tuotannonohjauksen osat ja käytännöt ovat hyödyllisimpiä virtauksen parantamisen ja hukan vähentämisen näkökulmasta?

Tuotannon onnistumisen kannalta hyödyllisimpiä osia olivat KVA-menetelmällä saatu tarkka ja luotettava vaiheaikataulu, tahtiperiaatteen mukainen tehtävien sisältöjen ja kestojen selkeytys sekä esteitä ja häiriöitä vähentävä aamupalaveri.

3. Mitkä tekijät vaikuttavat menetelmien käyttöönottoon?

Menetelmien käyttöönottoon vaikuttavat eniten niistä saatu koettu hyöty, tarjolla olevat koulutukset ja ohjeistukset, projektinjohton tuki sekä työmaan yleinen ilmapiiri.

6.1 Jatkotutkimusaiheet

Tuotannon parantamisen täytyy lähteä näiden löydösten perusteella myös alhaalta päin. Tärkeässä osassa parempaa tuotantoa on tekijän mukaan ottaminen. Aihetta kuitenkin on tutkittu suhteellisen vähän, eli tuotannonohjauksen sosiaalisen puolen toteuttamisen tutkimiselle olisi tarvetta teknisten menetelmien kehittämisen lisäksi. Lisäksi tahtituotannon periaatteiden, kuten tehtävien tarkan luovutuksen tahtiajassa varmistaminen olisi voinut poistaa tutkimuksessa havaittuja ongelmia. Tämän toteutus vaatii kuitenkin lisätutkimusta, sillä tuotteen virtauksen optimointi saattaa olla ristiriidassa aliurakoitsijoiden motivaatioiden kanssa.

Jatkotutkimusaiheeksi jäivät:

1. Miten yhteistoiminnallisesta tuotannonohjauksesta saadaan osa työmaiden tavallista toimintatapaa

2. Aliurakoitsijoiden motiivien ja kannustimien yhteensovitus tahtituotannon kanssa

Viitteet

- Abdelhamid, Tariq ja Sam Salem (2005). "Lean construction: a new paradigm for managing construction projects". Teoksessa: *Proceedings of the International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infrastructure*, s. 28–29.
- Alarcón, Luis F. et al. (2005). "Assessing the Impacts of Implementing Lean Construction". English. Teoksessa: *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Sydney, Australia, s. 387–393. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/384>.
- Alhava, Otto et al. (2019). "Can a Takt Plan Ever Survive beyond the First Contact with the Trades On-site?" Teoksessa: *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. IGLC. net.
- Altaf, Mohammed Sadiq et al. (2018). "Integrated production planning and control system for a panelized home prefabrication facility using simulation and RFID". *Automation in construction* 85, s. 369–383.
- Arashpour, Mehrdad et al. (2014). "Analysis of Disruptions Caused by Construction Field Rework on Productivity in Residential Projects". *Journal of Construction Engineering and Management* 140.2, s. 04013053. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000804](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000804).
- Babalola, Oluwatosin et al. (2019). "Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review". *Building and Environment* 148, s. 34–43. ISSN: 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318306760>.
- Bajjou, Mohamed et al. (2017). "A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System". English. *International Journal of Engineering Research in Africa* 29, s. 118–132. DOI: [10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118](https://search.proquest.com/docview/1875945856). URL: <https://search.proquest.com/docview/1875945856>.
- Ballard, Glenn (2000). "The Last Planner System of Production Control". English. Tohtorinväitöskirja. URL: <https://search.proquest.com/docview/301541552>.
- Ballard, Glenn ja Greg Howell (1994). "Implementing lean construction: stabilizing work flow". *Lean construction*, s. 101–110.
- Ballard, Glenn ja Gregory Howell (2003a). "An Update on Last Planner". English. Teoksessa: *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Virginia, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/227>.
- (2003b). "Lean project management". *Building Research & Information* 31.2, s. 119–133.
- Ballard, Glenn et al. (2001). "Production System Design in Construction". English. Teoksessa: *9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Singapore, Singapore. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/130>.
- Ballesteros-Perez, Pablo et al. (2019). "Duration and Cost Variability of Construction Activities: An Empirical Study". *Journal of Construction Engineering and Management* 146.1, s. 04019093.
- Barrett, Peter ja Monty Sutrisna (2009). "Methodological strategies to gain insights into informality and emergence in construction project case studies". *Construction Management and Economics* 27.10, s. 935–948.

- Bertelsen, Sven (2002). "Bridging the Gaps – Towards a Comprehensive Understanding of Lean Construction". English. Teoksessa: *10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos T. Formoso ja Glenn Ballard. Gramado, Brazil, s. 23–35. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/176>.
- Bertelsen, Sven et al. (2007). "Construction Physics". English. Teoksessa: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Christine L. Pasquire C.L ja Patricia Tzortzopoulos. East Lansing, Michigan, USA, s. 13–26. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/453>.
- Binnering, Marco et al. (2017a). "Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control". English. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, s. 613–620. DOI: 10.24928/2017/0086. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1461>.
- (2017b). "Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control". English. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, s. 613–620. DOI: 10.24928/2017/0086. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1461>.
- Binnering, Marco et al. (2018). "Short Takt Time in Construction – a Practical Study". English. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, s. 1133–1143. DOI: 10.24928/2018/0472. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1508>.
- Biton, Nelson ja Gregory Howell (2013). "The Journey of Lean Construction Theory Review and Reinterpretation". English. Teoksessa: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos Torres Formoso ja Patricia Tzortzopoulos. Fortaleza, Brazil, s. 125–132. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/878>.
- Bølviken, Trond ja Bo Terje Kalsaas (2011). "Discussion of Strategies for Measuring Workflow in Construction". English. Teoksessa: *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. John Rooke ja Bhargav Dave. Lima, Peru. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1129>.
- Bølviken, Trond et al. (2014). "The Wastes of Production in Construction – a TFM Based Taxonomy". English. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Bo Terje Kalsaas et al. Oslo, Norway, s. 811–822. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1076>.
- Bølviken, Trond et al. (2015). "What Is a Good Plan?" English. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Olli Seppänen et al. Perth, Australia, s. 93–102. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1238>.
- Castillo, Tito et al. (2017). "Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management* 144.3, s. 04017120.
- Christensen, Randi et al. (2019). "When a Business Case Is Not Enough, Motivation to Work With Lean". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 275–286. DOI: 10.24928/2019/0146. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1642>.
- Colledani, M. et al. (2010). "Analysis of the production variability in multi-stage manufacturing systems". *CIRP Annals* 59.1, s. 449–452. ISSN: 0007-8506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.01.001>.

- [//doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.142](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.142). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850610001435>.
- Crichton, C. (1966). *Interdependence and Uncertainty: A Study of the Building Industry*. Tavistock Pubs., London.
- Daniel, Emmanuel Itodo et al. (2016). "Exploring the Factors That Influence the Implementation of the Last Planner® System on Joint Venture Infrastructure Projects: A Case Study Approach". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1293>.
- Dave, Bhargav et al. (2015). "Exploring the recurrent problems in the last planner implementation on construction projects". Teoksessa: *Proceedings of the Indian Lean Construction Conference (ILCC 2015)*. Institute for Lean Construction Excellence.
- Demirkesen, Sevilay et al. (2019). "Identifying Barriers in Lean Implementation in the Construction Industry". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 157–168. DOI: [10.24928/2019/0151](https://doi.org/10.24928/2019/0151). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1631>.
- Dlouhy, Janosch et al. (2016). "Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – a New Approach for Designing Production Systems in Construction". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1350>.
- Emdanat, Samir et al. (2016). "A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1244>.
- Faloughi, Mazen et al. (2015). "WIP Design in a Construction Project Using Takt Time Planning". English. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Olli Seppänen et al. Perth, Australia, s. 163–172. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1240>.
- Fernandez-Solis, Jose L et al. (2012). "Survey of motivations, benefits, and implementation challenges of last planner system users". *Journal of construction engineering and management* 139.4, s. 354–360.
- Forsberg, Azam ja Lasse Saukkoriipi (2007). "Measurement of Waste and Productivity in Relation to Lean Thinking". English. Teoksessa: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Christine L. Pasquire C.L ja Patricia Tzortzopoulos. East Lansing, Michigan, USA, s. 67–76. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/458>.
- Frandsen, Adam ja Iris Tommelein (2016). "Takt Time Planning of Interiors on a Pre-Cast Hospital Project". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1339>.
- Frandsen, Adam et al. (2013). "Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding". English. Teoksessa: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos Torres Formoso ja Patricia Tzortzopoulos. Fortaleza, Brazil, s. 527–536. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/902>.

- Frandsen, Adam et al. (2014). "Takt-Time Planning and the Last Planner". English. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Bo Terje Kalsaas et al. Oslo, Norway, s. 571–580. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1063>.
- Frandsen, Adam et al. (2015). "Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning". English. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Olli Seppänen et al. Perth, Australia, s. 3–12. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1181>.
- Freeman, Clay ja Olli Seppänen (2014). "Social Aspects Related to LBMS Implementation – A Case Study". English. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Bo Terje Kalsaas et al. Oslo, Norway, s. 1133–1144. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1061>.
- Grimsmo, E (2008). "Hvordan unngå prosjekteringsfeil". *Trondheim: Byggekostnadsprogrammet*.
- Gusmão Brissi, Sara ja Luciana Debs (2019). "Lean, Automation and Modularization in Construction". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 711–722. DOI: [10.24928/2019/0177](https://doi.org/10.24928/2019/0177). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1683>.
- Hackett, Vince et al. (2019). "The Development and Use of Last Planner® System (LPS) Guidance". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 651–662. DOI: [10.24928/2019/0101](https://doi.org/10.24928/2019/0101). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1677>.
- Haghsheno, Shervin et al. (2016). "History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1297>.
- Hamzeh, Farook (2009). "Improving construction workflow - The role of production planning and control". Tohtorinväitöskirja. UC Berkeley.
- Hirsjärvi, Sirkka ja Helena Hurme (2000). *Tutkimushaastattelu - Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Yliopistopaino. ISBN: 951-570-458-8.
- Hirsjärvi, Sirkka et al. (2007). *Tutki ja kirjoita*. Vol. 13. Helsinki: Tammi. ISBN: 978-951-26-5635-6.
- Hopp, W. ja M. Spearman (2008). *Shop Floor Control. Factory Physics*. Waveland Press, Long Grove, IL.
- Horman, Michael ja Russell Kenley (1996). "The Application of Lean Production to Project Management". English. Teoksessa: *4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Birmingham, UK. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/5>.
- Howell, G (1999). "Managing Construction: The Lean Perspective". *The Lean Construction Chronicle*, s. 1–3.
- Jacobs, Gideon Francois (2010). "Review of lean construction conference proceedings and relationship to the Toyota Production System framework". Tohtorinväitöskirja. Colorado State University. Libraries.
- Jorgensen, Bo et al. (2004). "Revealing Cultures and Sub-Cultures During the Implementation of Lean Construction". English. Teoksessa: *12th Annual Conference of the*

- International Group for Lean Construction*. Toim. Sven Bertelsen ja Carlos T. Formoso. Helsingør, Denmark. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/307>.
- Kalsaas, Bo Terje (2010). "Work-Time Waste in Construction". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 507–517. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/723>.
- (2011). "On the Discourse of Measuring Work Flow Efficiency in Construction. A Detailed Work Sampling Method". English. Teoksessa: *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. John Rooke ja Bhargav Dave. Lima, Peru. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1113>.
- (2013). "Measuring Waste and Workflow in Construction". English. Teoksessa: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos Torres Formoso ja Patricia Tzortzopoulos. Fortaleza, Brazil, s. 33–42. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/916>.
- Kenley, Russell ja Olli Seppänen (2010). *Location-based management for construction: Planning, scheduling and control*. London ja New York: Spon Press. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203030417>.
- Korb, Samuel ja H. Glenn Ballard (2018). "Believing Is Seeing: Paradigms as a Focal Point in the Lean Discourse". English. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, s. 177–186. DOI: [10.24928/2018/0208](https://doi.org/10.24928/2018/0208). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1540>.
- Koskela, Lauri (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Tekninen raportti 72.
- (1996). "Towards the Theory of (Lean) Construction". English. Teoksessa: *4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Birmingham, UK. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/8>.
- (2000). "An Exploration Towards a Production Theory and Its Application to Construction". Tohtorinväitöskirja.
- (2004). "Making-Do — the Eighth Category of Waste". English. Teoksessa: *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Sven Bertelsen ja Carlos T. Formoso. Helsingør, Denmark. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/312>.
- Koskela, Lauri ja Anssi Koskenvesa (2003). *Last Planner-tuotannonohjaus Rakennustyömaalla*. URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2197.pdf>.
- Koskela, Lauri ja Ruben Vrijhoef (2000). "The Prevalent Theory of Construction a Hindrance for Innovation". English. Teoksessa: *8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Brighon, UK. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/109>.
- Koskela, Lauri et al. (2013). "Which Are the Wastes of Construction?" English. Teoksessa: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos Torres Formoso ja Patricia Tzortzopoulos. Fortaleza, Brazil, s. 3–12. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/919>.
- Koskenvesa, Anssi ja Lauri Koskela (2012). "Ten Years of Last Planner in Finland - Where Are We?" English. Teoksessa: *20th Annual Conference of the International Group for*

- Lean Construction*. Toim. Iris D. Tommelein ja Chrisitne L. Pasquire. San Diego, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/795>.
- Koskenvesa, Anssi et al. (2010). "Waste and Labor Productivity in Production Planning Case Finnish Construction Industry". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 477–486. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/704>.
- Kujansuu, Pekka (2018). "Rakentamisen Aikataulutuksen Kehitysmahdollisuudet Tahtimenetelmien Avulla". Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Latham, Michael (1994). "Constructing the team: Final Report of the Government". *Industry Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry: HMSO London*.
- Leal, Mauricio ja Luis F. Alarcon (2010). "Quantifying Impacts of Last PlannerTM Implementation in Industrial Mining Projects". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 518–527. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/733>.
- Liker, J. (2003). *The Toyota Way : 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Business/ Management. McGraw-Hill. ISBN: 9780071435635.
- Likert, Rensis ja Jane G Likert (1976). *New ways of managing conflict*. McGraw-Hill.
- Lindhard, Søren (2014). "Understanding the effect of variation in a production system". *Journal of Construction Engineering and Management* 140.11, s. 04014051.
- Lindhard, Søren et al. (2019). "Impact of Activity Sequencing on Reducing Variability". *Journal of Construction Engineering and Management* 145.3, s. 04019001. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CE.1943-7862.0001618](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CE.1943-7862.0001618).
- Liu, Min et al. (2011). "Work Flow Variation and Labor Productivity: Case Study". English. *Journal of Management in Engineering* 27.4, s. 236–242. DOI: [10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000056](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000056).
- Loosemore, M. et al. (2000). "An investigation into the merits of encouraging conflict in the construction industry." *Construction Management Economics* 18.4, s. 447–456. ISSN: 01446193. URL: <http://search.ebscohost.com.libproxy.aalto.fi/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=3355752&site=ehost-live&authtype=sso&custid=ns192260>.
- McConaughy, Tammy ja Daniel Shirkey (2013). "Subcontractor Collaboration and Breakdowns in Production: The Effects of Varied Lps Implementation". English. Teoksessa: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Carlos Torres Formoso ja Patricia Tzortzopoulos. Fortaleza, Brazil, s. 649–658. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/927>.
- Merikallio, Lauri (2015). *Last Planner -menetelmä tuotannonohjaukseen*. URL: <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/last-planner-systeemi/> (viitattu 2019).
- Mota, Bruno et al. (2019). "Lean Design Management in a Major Infrastructure Project in UK". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 37–48. DOI: [10.24928/2019/0251](https://doi.org/10.24928/2019/0251). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1659>.
- Ohno, Taiichi (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.

- Olivieri, Hylton et al. (2016). "Integrating Lbms, Lps and Cpm: A Practical Process". English. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1306>.
- Olivieri, Hylton et al. (2018). "Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS)". *Construction management and economics* 36.2, s. 109–124.
- Paez, Omar et al. (2005). "Moving from lean manufacturing to lean construction: Toward a common sociotechnological framework". *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 15.2, s. 233–245.
- Pasila, Hans (2019). "Impact of lean-intervention on productivity". Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Patton, John R (2013). "Task diminishment: construction value loss due to sub-optimal task execution". Tohtorinväitöskirja. Indiana State University.
- Porwal, Vishal et al. (2010). "Last Planner System Implementation Challenges". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 548–556. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/686>.
- Power, William ja Darrin Taylor (2019). "Last Planner® System and Planned Percent Complete: An Examination of Individual Trade Performances". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 1–12. DOI: [10.24928/2019/0164](https://doi.org/10.24928/2019/0164). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1626>.
- Priven, Vitaliy ja Rafael Sacks (2016). "Impacts of the Social Subcontract and Last Planner System Interventions on the Trade-Crew Workflows of Multistory Residential Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management* 142.7, s. 04016013. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001102). URL: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%5C%28ASCE%5C%29CO.1943-7862.0001102>.
- Rakennusalan suhdanneryhmä (2018). *Rakentaminen 2018-2019*, 27.3.2018. URL: julkaisut.valtioneuvosto.fi.
- (2019). *Rakentaminen 2019-2020, Kevät 2019*. URL: julkaisut.valtioneuvosto.fi.
- Ravi, Ramakrishnan et al. (2018). "The Last Planner System: Comparing Indian and Norwegian Approaches". English. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, s. 381–391. DOI: [10.24928/2018/0421](https://doi.org/10.24928/2018/0421). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1562>.
- Ribeiro, Flora Seixas et al. (2017). "Phase Schedule Implementation and the Impact for Subcontractors". English. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, s. 687–694. DOI: [10.24928/2017/0183](https://doi.org/10.24928/2017/0183). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1457>.
- Richert, Tom ja Joanna McGuffey (2019). "Enthusiasm for Lean". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 359–368. DOI: [10.24928/2019/0160](https://doi.org/10.24928/2019/0160). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1650>.

- Rojas, Eddy M ja Peerapong Aramvareekul (2003). "Labor productivity drivers and opportunities in the construction industry". *Journal of management in engineering* 19.2, s. 78–82.
- Romo, Jarmo (2018). "Työmaan resurssien automaattisen seurannan hyödyntäminen tuotannonohjauksessa". Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Ruohomäki, Anton (Julkaisematon). "Hukan mittaaminen tahtituotannossa". Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Russell, Marion M et al. (2013). "Application of time buffers to construction project task durations". *Journal of Construction Engineering and Management* 139.10, s. 04013008.
- Ryan, Maria et al. (2019). "Case Study in the Application of the Last Planner® System". English. Teoksessa: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, s. 215–226. DOI: [10.24928/2019/0223](https://doi.org/10.24928/2019/0223). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1636>.
- Sacks, Rafael (2004). "Towards a Lean Understanding of Resource Allocation in a Multi-Project Sub-Contracting Environment". English. Teoksessa: *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Sven Bertelsen ja Carlos T. Formoso. Helsingør, Denmark. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/326>.
- (2016). "What constitutes good production flow in construction?" *Construction management and economics* 34.9, s. 641–656.
- Sacks, Rafael ja Michael Harel (2006). "How Last Planner Motivates Subcontractors to Improve Plan Reliability – a Game Theory Model". English. Teoksessa: *14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Santiago, Chile, s. 443–454. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/444>.
- Salerto, Saara (2019). "Hukan mittaaminen tahtihankkeessa". Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Seddon, John ja Simon Caulkin (2007). "Systems thinking, lean production and action learning". *Action Learning: Research and Practice* 4.1, s. 9–24.
- Seppänen, Olli (2009). "Empirical research on the success of production control in building construction projects". en. G4 Monografiaväitöskirja, Verkkokirja (8406 KB, 187 s.) ISBN: 978-952-248-061-3; 978-952-248-060-6 (printed). URL: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-248-061-3>.
- (2014). "A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods". English. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Bo Terje Kalsaas et al. Oslo, Norway, s. 727–738. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/967>.
- Seppänen, Olli ja Jouko Kankainen (2004). "Empirical Research on Deviations in Production and Current State of Project Control". English. Teoksessa: *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Sven Bertelsen ja Carlos T. Formoso. Helsingør, Denmark. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/330>.
- Seppänen, Olli et al. (2010). *The Combination of Last Planner System and Location-based Management System*. English.
- Seppänen, Olli et al. (2014). "Effects of the Location-based Management System on Production Rates and Productivity". English. *Construction Management and Economics* 32.6, s. 608–624. DOI: [10.1080/01446193.2013.853881](https://doi.org/10.1080/01446193.2013.853881). URL: <https://search.proquest.com/docview/1543397254>.

- Seppänen, Olli et al. (2015). "Integration of Last Planner System and Location-Based Management System". English. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Olli Seppänen et al. Perth, Australia, s. 123–132. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1201>.
- Seymour, David (1996). "Developing Theory in Lean Construction". English. Teoksessa: *4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Birmingham, UK. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/14>.
- Shewhart, Walter Andrew (1931). *Economic control of quality of manufactured product*. Macmillan ja Co Ltd, London.
- Skanska Suomi (2018). *Skanskan tapa toimia - Rakentaminen (Y3) -esite*. Sisäinen verkkojulkaisu. URL: <https://skanska.sharepoint.com/sites/fi-mallipohjat/Y3%5C%20Talonrakennus%5C%20ja%5C%20kodit/Rakentaminen%5C%20Y3%5C%20esite.pdf> (viitattu 2019).
- Skinnarland, Sol ja Solveig Yndesdal (2010). "Exploring the Development of Collaboration in Construction Projects: A Case Study". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 356–365. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/706>.
- Spearman, Mark ja Wallace Hopp (1996). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Vol. 439. Irwin, Chicago, IL.
- Stone, Kyle (2012). "Four decades of lean: a systematic literature review". English. *International Journal of Lean Six Sigma* 3.2. Copyright - Copyright Emerald Group Publishing Limited 2012; Last updated - 2019-09-06, s. 112–132. URL: <https://search.proquest.com/docview/1018110751?accountid=27468>.
- Sundararajan, S. ja T. Madhavi (2018). "Last Planner Implementation in Building Projects". English. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, s. 840–847. DOI: 10.24928/2018/0528. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1609>.
- Suomen virallinen tilasto (2019). *Tuottavuustutkimus*. Verkkojulkaisu. Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain 1976-2017. URL: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__kan__ttut/statfin_ttut_pxt_002.px/.
- Särkilähti, Tuomas (2011). *Tutannon luotettavuus*. Esitetty vuoden 2011 LCI-Päivillä. URL: <http://www.lci.fi/sites/default/files/LCI11%5C%20-%5C%205%5C%20LTT%5C%20osana%5C%20Skanskan%5C%20toimintatapaa%5C%20%5C%28Sarkilahti%5C%29.pdf> (viitattu 2019).
- Tavory, Iddo ja Stefan Timmermans (2014). *Abductive analysis: Theorizing qualitative research*. University of Chicago Press.
- Tillmann, Patricia et al. (2015). "BIM and Lean in the Design-Production Interface of ETO Components in Complex Projects". English. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Olli Seppänen et al. Perth, Australia, s. 331–340. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1175>.
- Timmermans, Stefan ja Iddo Tavory (2012). "Theory construction in qualitative research: From grounded theory to abductive analysis". *Sociological theory* 30.3, s. 167–186.
- Tommelein, Iris D. (2017). "Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work". English. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean*

- Construction*. Heraklion, Greece, s. 745–752. DOI: [10.24928/2017/0271](https://doi.org/10.24928/2017/0271). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1482>.
- Tommelein, Iris D. et al. (1998). "Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Succeeding Trade Performance". English. Teoksessa: *6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Guarujá, Brazil. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/58>.
- Torp, Olav et al. (2018). "Factors Affecting Implementation of Lean Construction". English. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, s. 1261–1271. DOI: [10.24928/2018/0234](https://doi.org/10.24928/2018/0234). URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1521>.
- Tsao, Cynthia C.Y. ja Glenn J. Hammons (2014). "Learning to See Simplicity within a Complex Project Through the Lens of Pull Planning". English. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Bo Terje Kalsaas et al. Oslo, Norway, s. 751–762. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/1044>.
- Wambeke, Brad W et al. (2011). "Causes of Variation in Construction Project Task Starting Times and Duration". *Journal of Construction Engineering and Management* 137.9, s. 663–677. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CE.1943-7862.0000342](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CE.1943-7862.0000342).
- Ward, Steven. A. ja Ward McElwee (2007). "Application of the Principle of Batch Size Reduction in Construction". English. Teoksessa: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Christine L. Pasquire C.L ja Patricia Tzortzopoulos. East Lansing, Michigan, USA, s. 539–548. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/538>.
- Vaux, James S. ja W. Max Kirk (2018). "Relationship Conflict in Construction Management: Performance and Productivity Problem". *Journal of Construction Engineering and Management* 144.6, s. 04018032. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CE.1943-7862.0001478](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CE.1943-7862.0001478).
- Weick, Karl E (1995). *Sensemaking in organizations*. Vol. 3. Sage.
- Viana, Daniela Dietz et al. (2010). "A SURVEY ON THE LAST PLANNER SYSTEM: IMPACTS AND DIFFICULTIES FOR IMPLEMENTATION IN BRAZILIAN COMPANIES". English. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Kenneth Walsh ja Thais Alves. Haifa, Israel, s. 497–507. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/715>.
- Viana, Daniela Dietz et al. (2012). "Waste in Construction: a Systematic Literature Review on Empirical Studies". English. Teoksessa: *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Toim. Iris D. Tommelein ja Chrisitne L. Pasquire. San Diego, USA. URL: <http://www.iglc.net/papers/details/858>.
- Womack, James P ja Daniel T Jones (1997). "Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation". *Journal of the Operational Research Society* 48.11, s. 1148–1148.
- Womack, James et al. (1990). *Machine that changed the world*. Simon ja Schuster.
- Yin, Robert (2014). *Case Study Research*. 5. edition. Thousand Oaks, CA: SAGE. ISBN: 1452242569.

A Haastattelurunko

Kysymykset:

1. Vähentääkö yhteistoiminnallinen tuotannonohjaus hukkaa työmaalla:

1.1. Työnjohtajat/nokkamiehet

- i. Oliko tuotantonopeus tavallista parempi? Oliko yhteistoiminnallisuudella vaikutusta tähän?
- ii. Parantuivatko rakennustuotannon seitsemän virtausta (Resurssit, välineet, mesta, materiaalit, edeltävä työvaihe, suunnitelma, olosuhteet) yhteistoiminnallisuuden johdosta? Mitkä ja millä tavalla?
- iii. Vältettiinkö joitain häiriöitä etukäteen?
- iv. Viisi-miksi suurimmille tuotannon häiriöille
- v. Olisiko tuotannon häiriöt voitu nähdä etukäteen?
- vi. Parantuiko luottamus urakoitsijoiden/sidosryhmien välillä?

2. Mitkä yhteistoiminnallisen tuotannonohjauksen osat ja käytännöt vaikuttavat eniten tuotannon hukkaan?

2.1. Vastaava työnjohtaja/aikatauluinsinööri

i. Käyttöaste:

- A. Pidetäänkö projektilla viikoittainen urakoitsijapalaveri, jossa tehdään aliurakoiden yhteensovitusta?
- B. Tehdäänkö viikkosuunnitelmat joka viikko? Sisältävätkö ne tehtävien toteuttamisen edellytysten tarkistamisen (suunnitelmat, sopimukset, materiaali, koneet ja kalusto, mesta ja edeltäjä, olosuhteet, tts, tesu, aloituspalaveri)? Suunnitellaanko varamesta jokaiselle tehtävälle?
- C. Ovatko viikoille merkityt tehtävät suunniteltu toteutettavaksi kyseisen viikon aikana? (Vai ovatko esimerkiksi muistion tapaisesti mukana aikataulussa)
- D. Pidetäänkö aikataulussa vain tehtäviä, jotka uskotaan pystyvän tehtävän kyseisessä aikataulussa, esteet poistaen? (Ei siis toiveita, vaan suunnitelmia)
- E. Käytetäänkö viikkosuunnitelmaa työmaalla työntekijöiden ohjeistamiseen? Pitävätkö työnjohtajat viikkosuunnitelmia mukana työmaalla?
- F. Käydäänkö viikkosuunnitelmat läpi aikataulutuspäiväkokouksissa? Oman työnjohdon vai myös tekijöiden kanssa? Seurataan tehtävien toteutumista (TTP)? Entä juurisyitä tekemättä jääneille tehtäville (viisi-miksi)?
- G. Tekeekö vastaava työnjohtaja neljä-kuusiviikkoissuunnitelman ja päivittää sitä joka viikko?

- H. Pyydetäänkö aliurakoitsijoita tarkistamaan viikoittain heitä koskevan aikataulun mahdolliset esteet (suunnitelmapuutteet, mesta, ...)? (esimerkiksi työvaiheilmoituksessa)
 - I. Antavatko aliurakoitsijat tietoa esteistä? Ketkä yleensä antavat ja ketkä eivät?
 - J. Mitkä ovat yleisimpiä syitä viikkosuunnitelmassa olevan tehtävän jäämiseen aikataulusta?
 - K. Reagoidaanko aikataulusta jääneisiin tehtäviin heti niiden loppuunsaattamiseksi?
 - L. Päivitetäänkö vaiheaikataulua viikoittain? (Valvontavinjetti, tms. toteuman seuranta)
 - M. Osallistuvatko aliurakoitsijat vaiheaikataulun suunnitteluun? Esimerkkinä käännetty vaiheaikatauluspalaveri post-it-lappujen avulla.
 - N. Osallistuvatko itse työntekijät/nokkamies tehtävien aikataulutukseen, esteiden tarkasteluun ja suunnitteluun?
 - O. Pidetäänkö toistensa töihin mahdollisesti vaikuttavien aliurakoitsijoiden kanssa päivittäin pikapalaveri päivän töistä?
 - P. Käytetäänkö projektillanne malliasennuksia yleisesti tehtävien aloituksen yhteydessä?
 - ii. Mitä uusia käytäntöjä työmaalla oli?
 - iii. Mitä kokouksia tai tapaamisia urakoitsijoiden kanssa pidettiin?
 - iv. Missä yhteyksissä paljastui eniten korjattavia esteitä? (urakoitsijapalaveri? työmaalla epävirallisesti?)
 - v. Mitkä käytännöt koitte hyödyllisimmiksi?
 - vi. Minkälaista hyötyä koitte näiden työkalujen käytön tuovan?
3. Miten hyödyllisimmät osat otetaan käyttöön koko organisaatiossa ja prosessi yhtenäistetään?
- 3.1. Vastaava työnjohtaja/aikatauluinsinööri
- i. Minkälaisia vinkkejä antaisitte muille yhteistoiminnallisuutta käyttöön ottaville
 - ii. Miten veditte palaverit, erityisesti aikatauluspalaveri?
 - iii. Tiedätkö Skanskassa olevan käytössä standardoitu Y3 – Rakentamisen prosessi?
 - iv. Kuinka hyvin tunnet vakioidun prosessin asteikolla 1-5? (1=en ollenkaan, 5=läpikotaisin)
 - v. Koetko tuotannon johtaminen ja ajallisen hallinnan menevän prosessin mukaisesti projektillasi? Entä Skanskassa yleisesti? (Kaavio ohessa)
 - vi. Onko prosessi ja sen osat mielestäsi järkevä? Muuttaisitko jotain?
 - vii. Kokisitko pystyväsi vaikuttamaan prosessiin muutosehdotuksilla?
 - viii. Haluaisitko lisäkoulutusta prosessista?

- ix. Näetkö etuja Skanskan kaikkien työmaiden käytäntöjen yhtenäistämises-
sä?

3.2. Y3-prosessista vastaava

- i. Miten prosessia kehitetään?
- ii. Mikä on näkemyksesi prosessin standardoimiseen koko organisaatios-
sa/prosessiajatteluun rakennusosalalla? Onko hyödyllistä?
- iii. Mikseivät prosessin osat ole käytössä koko organisaatiossa?
- iv. Mitkä ovat askeleet sen käyttöönottoon koko organisaatiossa?

4. Miten mahdollistetaan prosessin jatkuva parantaminen ja organisaation kehittymi- nen?

4.1. Y3-prosessista vastaava

- i. Miten mahdollistetaan prosessin jatkuva parantaminen ja organisaation
kehittyminen?